

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno – matematički fakultet
Biološki odsjek

Paula Šunjić

ZAJEDNICA VODENIH BESKRALJEŠNJAKA IZVORA PRUD U DELTI NERETVE

Diplomski rad

Zagreb, 2016

Ovaj diplomski rad izrađen je u Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno – matematičkog fakulteta pod stručnim vodstvom izv. prof. doc. sc. Sanje Gottstein. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno - matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra Znanosti o okolišu.

ZAHVALA

Prije svega želim se zahvaliti profesorici Sanji Gottstein na svesrdnoj pomoći i svom strpljenju, razumijevanju i povjerenju koje mi je pružila na ovom zanimljivom „putu“ kojim sam se kretala tijekom izrade mog diplomskog rada, zbog čega je ovaj rad dobio dodatnu dimenziju i važnost.

Da ne duljim puno, jednostavno, hvala svima onima koji su bili i još uvijek su tu.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno – matematički fakultet

Biološki odsjek

Diplomski rad

Zajednica vodenih beskralješnjaka izvora Prud u delti Neretve

Paula Šunjić

Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb

Izvori predstavljaju jedinstveno područje na dodiru podzemnih i površinskih ekosustava, integrirajući njihova obilježja u kompleksnu strukturu heterogenih staništa specifičnih fizikalno-kemijskih obilježja i jedinstvene krenobionske faune. U svrhu utvrđivanja sastava i raznolikosti makrozoobentosa na krškom izvoru Prud u delti Neretve te njegovog ekološkog stanja, provedeno je uzorkovanje bentosa tijekom četiri sezone (ožujak, svibanj i rujan 2014. i siječanj 2015. godine) kracer mrežom na dominantnom supstratu duž 100 m eukrenala. Prikupljeno je ukupno 60 poduzoraka. Osnovni fizikalno – kemijski parametri vode tijekom dvogodišnjeg razdoblja mjerenja od ožujka 2014. do studenog 2015. godine su bez značajnih sezonskih oscilacija. Sastav zajednice vodenih beskralješnjaka ukazuje na dominaciju skupina Gastropoda i Amphipoda među permanentnom vodenom faunom, te povremenih predstavnika skupine Diptera (Chironomidae) tijekom svih sezona. Prema sastavu i raznolikosti zajednica makroskopskih vodenih beskralješnjaka i pratećim fizikalno-kemijskim parametrima vode, izvor Prud spada u III klasu voda, umjereno dobrog ekološkog stanja. Usporedba recentnih istraživanja s prethodnim istraživanjima od prije 20 godina ukazuje kako nije došlo do značajnih promjena ekološkog stanja izvora Prud. Krški izvor Prud jedinstvene je hidrogeologije i gemorfolologije te specifičnog sastava zajednice makroskopskih vodenih beskralješnjaka, koja značajno doprinosi lokalnoj i regionalnoj raznolikosti te može poslužiti kao model u budućim istraživanjima izvora delte Neretve.

(75 strana, 30 slika, 21 tablica, 64 literaturnih navoda, 4 priloga, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: krški izvor / fizikalno-kemijski parametri / makrozoobentos / ekološko stanje / Neretva

Voditelj: Dr. sc. Sanja Gottstein, izv. prof.

Ocjenitelji: Dr. sc. Nenad Buzjak, izv. prof., Dr. sc. Vlasta Čosović, red. prof., Dr. sc. Sandra Radić Brkanac, doc.

Zamjena: Dr. sc. Marija Gligora Udovič, doc.

Rad je prihvaćen: 13. travnja 2016.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Division of Biology

Graduation Thesis

Aquatic invertebrates community of the spring Prud in the delta of the Neretva River

Paula Šunjić

Rooseveltova trg 6, 10 000 Zagreb

Springs represent contact between subterranean and surface ecosystems integrating them into a complex structure of heterogeneous habitats with specific physicochemical features and unique crenobiocoenosis. The composition and diversity of macroinvertebrate fauna and ecological state of the karst spring Prud in the delta of the Neretva River were evaluated during the four sampling season (March, May, September 2014 and January 2015). The 60 samples were collected at the spring source on the dominated macrophyte substrate using standard benthos net. No significant changes were recorded during the two years measurement (March 2014 to November 2015) of physicochemical parameters. Macroinvertebrate community composition indicates domination of Gastropoda and Amphipoda as a permanent and Diptera (Chironomidae) as a temporary aquatic fauna group during the all seasons. According to macroinvertebrate composition, species diversity and analysed physicochemical water properties, water from the spring Prud was assessed as a water quality class III (moderate). Comparison of recent with previous research showed there were no significant changes in ecological state during the past 20 years. The unique hydrogeology, geomorphology and macroinvertebrate composition of the karst spring Prud represent a major contribution to a local and regional diversity and can serve as a model to further research of springs in the delta of the Neretva River.

(75 pages, 30 figures, 21 tables, 64 references, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library

Key words: karst springs / physicochemical features / aquatic macroinvertebrates / ecological state / Neretva

Supervisor: Dr. Sanja Gottstein, Assoc. Prof.

Reviewers: Dr. Nenad Buzjak, Assoc. Prof., Dr. Vlasta Čosović, Full. Prof., Dr. Sandra Radić Brkanac, Asst. Prof.

Replacement: Dr. Marija Gligora Udovič, Asst. Prof.

Thesis accepted: 13th April 2016

SADRŽAJ:

1.UVOD	1
1.2.1. Biološka klasifikacija izvora	3
1.3. Biološka i ekološka obilježja krških izvora	4
1.5. Značaj istraživanja izvora u delti Neretve	7
1.6. Ciljevi istraživanja.....	9
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	10
2.1. Opis područja istraživanja	10
2.1.1. Geografske značajke područja delte Neretve	10
2.1.3. Klima i hidrografske prilike	11
2.1.4. Hidrogeološke značajke slivnog područja izvora Prud	14
2.2. Opis istraživnog lokaliteta	17
3. MATERIJALI I METODE	19
3.1. Materijali	19
3.2. Dinamika terenskih istraživanja	19
3.3. Metode terenskih istraživanja.....	19
3.3.1. Uzorkovanje i pohrana bioloških uzoraka	19
3.3.2. Mjerenje fizikalno-kemijskih parametara.....	22
3.4. Metode laboratorijskih istraživanja	22
3.5. Analiza podataka	23
3.5.1. Analiza fizikalno-kemijskih parametara.....	23
3.5.2. Analiza zajednice vodenih makrofita	23
3.5.3. Analiza zajednice vodenih makroskopskih beskralješnjaka.....	23
3.6. Ocjena ekološkog stanja izvora Prud	24
3.7. Usporedba s podacima prethodnih faunističkih istraživanja	26
4. REZULTATI	28
4.1. Fizikalno-kemijska obilježja vode izvora Prud	28
4.1.1. Temperatura.....	28
4.1.2. Koncentracija otopljenog kisika	29
4.1.4. pH vrijednost vode	30
4.1.5. Salinitet.....	31
4.1.6. Alkalinitet vode	32
4.1.7. Električna provodnost vode.....	32

4.1.8. Koncentracija otopljene organske tvari u vodi	33
4.1.9. Brzina strujanja vode	34
4.1.10. Odnos fizikalno-kemijskih parametara.....	35
4.2. Vegetacija vodenih makrofita izvora Prud	38
4.3. Sastav i gustoća zajednice makrozoobentosa izvoru Prud	41
4.3.1. Zastupljenost pojedinih skupina makrozoobentosa	41
4.3.2. Gustoća jedinki pojedinih skupina makrozoobentosa	42
4.3.3. Rezultati kvantitativne analize sastava zajednice makrozoobentosa.....	44
4.3.3.1. Sastav zajednice makrozoobentosa izvora Prud tijekom recentnih istraživanja.....	44
4.3.3.2. Pokazatelji raznolikosti zajednice makrozoobentosa	49
4.4. Ocjena ekološkog stanja temeljem analize makrozoobentosa – usporedba recentnih i prethodnih istraživanja na izvoru Prud	51
4.4.1. Ocjena ekološkog stanja temeljem analize saprobnosti.....	51
4.4.2. Ocjena ekološkog stanja temeljem analize opće degradacije	52
4.4.3. Analiza prethodnih istraživanja.....	53
5. RASPRAVA	54
Razlike u fizikalno-kemijskim obilježjima vode na izvoru Prud	54
Usporedba sastava i gustoće makrozoobentosa izvora Prud	59
Ekološko stanje izvora Prud	63
6. ZAKLJUČCI	67
7. LITERATURA	69

1.UVOD

Živimo u vremenu ne samo globalnih klimatskih promjena već smo sve više svjedoci značajnih pogoršanja kvalitete i kvantitete podzemnih voda, a nadasve krajobraznih promjena mnogih izvorišnih područja koja postaju vodocrpilišta ili vodozaštitna područja opasana žicama. Danas smo više nego ikad prije u povijesti civilizacije postali nedostatno osjetljivi na promjene u okolišu, premda nas na očuvanje prirodnih i nacionalnih dobara, kao što su izvori, obvezuju zakoni, konvencije, moralna i duhovna odgovornost (*pers. com.* Sanja Gottstein). Izuzev prirodnog značaja izvora kao zasebnih ekosustava na granici podzemne i površinske vode (Webb i sur., 1998) te između kopnenih i vodenih staništa (Cantonati i sur., 2006), oni su oduvijek bili vrlo važna komponentna razvoja čovjeka i društva. Zapanjuje činjenica kako su najranije civilizacije od prije 20.000 godina na špiljskim crtežima ukazivale na korištenje i zaštitu vode kao izvora života. Strabon u razdoblju od 150 god. p.n.e. posvetio je 8. knjigu od 17 svezaka bunarima i izvorima. Rimski filozof Seneka, izvještavao je o izvorima, špiljama i ponorima. No tijekom razvoja civilizacije sve više se gubi osjećaj zahvalnosti prema vodi kao izvoru života i sve intenzivnije se fizički mijenjaju izvori u funkciju vodocrpilišta te različitih oblika kaptaža (LaMoreaux i Stevanović, 2015; URL 1). Nedvojbeno je da razvoj ljudske civilizacije uvelike ovisi o vodi, štoviše o njezinoj kvaliteti. Paradoksalno je čovjek s vremenom postao velika prijetnja prirodnom okolišu. Zanimljivo je činjenicu kako je samo mali dio kompleksne cjeline, njegov utjecaj postao je uzrokom nesagledivih posljedica. Danas, više nego ikad, nekontrolirana eksploatacija vode, onečišćenje, degradacija staništa te pojava invazivnih vrsta prijetnje izvorskim staništima te bitno utječu na bioraznolikost i kvalitetu vode (Glazier, 2009; Minelli i sur., 2002; Erman, 2002), čime ona postaje ograničavajući čimbenik razvoja.

1.1. Opće značajke izvora

Izvori ili vrela su mjesta gdje podzemna voda izlazi na površinu oblikujući površinski tok. Sva izvorska voda ishodišno gledano je podrijetlom iz oborina. Pod djelovanjem gravitacije kiša ili otopljeni snijeg procijeđuju se u tlo, teku kroz pore i pukotine topivih stijena te se kao podzemne vode sakupljaju u poroznim stijenama (vodonosnicima), koje leže iznad vodonepropusnog sloja ili akvitarda. Na kontaktu propusnog i nepropusnog geološkog sloja voda izvire na površinu (Glazier, 2009). Izvore u većem broju nalazimo u brdskim i

planinskim područjima, ali i u nizinskim. Zanimljivo je istaknuti i one manje dostupne, gdje voda izvire ispod površine velikih vodnih tijela, poput jezera, rijeka, mora (vrulje) ili kao oceanska geotermalna vrela. Pojavnost izvora ovisi o geološkom sastavu, konfiguraciji terena i razini podzemnih voda. Izdašnost, veličina i starost izvora varira s veličinom i kapacitetom vodonosnika u kojem se voda zadržava te odnosom između oborina i evapotranspiracije lokalnog područja (Glazier, 2009; Herak, 1990 cit. iz Gottstein i sur., 2009). Tako razlikujemo manje povremene izvore s većim oscilacijama protoka i veće stalne izvore s manjim oscilacijama protoka. Konstantnost protoka uvjetuje stabilnost abiotičkih čimbenika pa su oscilacije kod povremenih izvora izraženije. Ipak velik broj izvora tijekom godine uglavnom ima ujednačene fizikalno-kemijske parametre vode (van der Kamp, 1995 cit. iz Galas, 2005), pri čemu je temperatura vode približno jednaka srednjoj godišnjoj temperaturi zraka lokalnog područja (Williams i Williams, 1998). Hidrološke značajke i kemijski sastav proizlaze iz geološkog sastava stijena. Jednako tako utječu na kvalitetu vode i sastav sedimenta, što značajno određuje ekološko stanje i bioraznolikost izvora (Cantonati i sur., 2006; Glazier, 2009; van der Kamp, 1995 cit. iz Galas, 2005). S obzirom na izuzetno jedinstvena i dinamična svojstva fizikalno-kemijskih čimbenika i biote, pod utjecajem različitih vanjskih energetske fluktuacije, izvori se danas promatraju kao zasebni ekosustavi (Knight i Notestein, 2008).

1.2. Klasifikacija izvora

Izvori kao izuzetno raznoliki i specifični ekosustavi (Knight i Notestein, 2008) javljaju se u širokom spektru prijelaznih oblika, zbog čega ih je vrlo teško klasificirati. Ovisno o povijesno-evolucijskim, hidrogeološkim i ekološkim obilježjima, fizikalno-kemijskim svojstvima te ljudskoj upotrebi, izvori se klasificiraju na razne načine. Različita klasifikacija proizlazi iz drugačije potrebe i shvaćanja izvora. Geolozi izvore klasificiraju prvenstveno prema načinu kretanja vode kroz vodonosnike, dok su biološke klasifikacije nastale iz pokušaja da se objasni struktura i sastav zajednica u njima te su tradicionalno različite u Europi i Sjevernoj Americi. Pritom europska klasifikacija u obzir uzima hidrološke i strukturne značajke izvora, a američka glacijalnu prošlost i prevladavajuće čimbenike (temperaturu i salinitet) (Williams i Williams, 1998).

1.2.1. Biološka klasifikacija izvora

Biološka klasifikacija izvora uglavnom se temelji na prevladavajućem abiotičkom čimbeniku. U odnosu na srednju godišnju temperaturu lokalnog područja razlikuju se termalni i hladni izvori te vrući čija se voda zagrijava povišenom temperaturom unutrašnjosti Zemlje (Glazier, 2009). S obzirom na salinitet, razlikuju se slani i boćati izvori. Zbog specifičnosti hidrologije posebno se izdvajaju krški izvori. Prema fizikalno-kemijskim čimbenicima vode kao što su pH i tvrdoća vode, razlikuju se izvori povećane kiselosti i smanjene tvrdoće vode na pješčenjacima te neutralni i umjereno tvrdi izvori, kao i blago lužnati izvori velike tvrdoće na vapnencima (Glazier i Glooch, 1987). Rijetki su pokušaji klasifikacije izvora na temelju sastava faune (Gerecke i sur., 1998; von Fumetti i Nagel, 2011), ali postoje podjele prema tipu prisutnog vodenog staništa (Glazier, 2009) i izloženosti glacijaciji (Martin i Brunke, 2012). Pokušaj kompleksnije klasifikacije, bazirane na morfologiji, hidrogeologiji i hidrobiologiji, proveden je na području Poljske (Galas, 2005).

Danas je u upotrebi najčešća biološka klasifikacija izvora prema morfologiji (Hynes, 1970 cit. iz Gottstein i sur., 2009; Reiss i Chiffard, 2015):

1. Reokreni izvori – tipični su za planinska područja. Sva voda pod pritiskom izbija na jednom mjestu odmah formirajući turbulentni izvorski tok. To su izvori s jakim prozračivanjem vode i stjenovitom podlogom, a najčešće prevladava vegetacija mahovina.

2. Limnokreni izvori ili oka – izgledom podsjećaju na jezero. Razlog tome je viši položaj vodonosnika u odnosu na podlogu pa voda neprestano izbija na dnu duboke depresije tvoreći ujezerenje, zatim dalje teče u obliku potoka. To su izvori s neznatnim strujanjem vode, koje se pojačava na mjestima otjecanja u izvorišni tok. Podloga je najčešće muljevito-pjeskovita, a dno bazena se može sastojati i od vrlo sitnih vapnenačkih čestica prekriveno mikrofitskom ili makrofitskom vegetacijom.

3. Helokreni izvori – procijedni izvori gdje male količine vode difuzno izlaze kroz slojeve mulja, organskog detritusa ili propusnih stijena. Obično su prekriveni bogatom vodenom i higrofilnom vegetacijom te tvore zamočvareno područje bez jasnih granica gdje voda izvire.

Svaki izvor, kao prijelazna točka, nosi obilježja dodirnih sustava. Ona su opet specifična za određeno područje u kojem se ti sustavi nalaze. Potvrđuju to mnogobrojna biološka (taksonomska, faunistička i ekološka), hidrološka i geološka istraživanja (Gottstein i sur.,

2009). Prema tome svaki izvor je specifičan te su postojeći kriteriji klasifikacije nedostatni i služe kao okvirni model za istraživanje njihove prirodne raznolikosti.

1.3. Biološka i ekološka obilježja krških izvora

Složena geomorfologija krša oblikuje hidrološke procese koji znatno utječu na prostornu i vremensku raspodjelu organizama i njihovih staništa (Mihevc i sur., 2010). Izvori predstavljaju ekoton, prijelaznu zonu u kojoj dolazi do međusobne interakcije podzemnih, površinskih voda i kopnenog ekosustava (Barquín i Scarsbrook, 2007). Time čine bitan element hidrološkog ciklusa te na dodiru kontrastnih ekosustava reguliraju protok tvari, energije, informacija i organizama (Mallard i sur., 1997 cit. iz Gottstein i sur., 2009). S obzirom na složena hidrogeološka i hidrološka obilježja, koja uvjetuju jedinstven i dinamičan sustav heterogenih staništa, oni predstavljaju "vruće točke" slatkovodne bioraznolikosti, idealne za istraživanje odnosa između zajednice faune i okolišnih čimbenika koji utječu na njihovu distribuciju (Barquín i Death, 2009; Glazier, 2009; Smith i sur., 2003). Višestruko integriran, a opet izoliran položaj te, u većini slučajeva, stabilni uvjeti omogućavaju istraživanje dinamike ekosustava na više nivoa, razmatrano u prostornom (od točke izvora do cjelokupnog slivnog područja), ali i vremenskom kontekstu. U takvim prirodno kontroliranim uvjetima *in situ* istraživanja su mnogo jednostavnija nego kod drugih nestabilnijih ekosustava (Williams i Williams, 1998; Glazier, 2009). Pri tome je bitno razlikovati tip izvora te zonu istraživnog područja jer se prostorni raspored i struktura zajednica, s obzirom na kompleksne čimbenike, mijenja te svaki izvor možemo promatrati kao jedinstven ekosustav. Dosadašnja istraživanja pokazala su značajne razlike ekoloških obilježja između pojedinih izvora (Erman, 2002; Smith i sur., 2003; Reiss i Chiffard, 2015).

S limnološkog aspekta izvor (krenal) je širi pojam koji obuhvaća izvorište (eukrenal) - mjesto gdje voda izlazi na površinu i izvorski tok (hipokrenal) - tok nizvodno od izvora. Područje eukrenala određuje se kao temperaturno stabilan dio toka u kojem godišnje temperaturne fluktuacije ne prelaze 2°C, čime je određena granica između ova dva područja (Erman i Erman, 1995; Reiss i Chiffard, 2015). Veličina zona i granice variraju s obzirom na tip izvora i specifične uvjete. Prevladavajući uvjeti utječu na životni ciklus organizama, a razlikuju se unutar sezona pa se tako sastav i prostorni raspored zajednica mijenja (Erman, 2002). Osim stalnih i povremenih zajednica izvorskih staništa (krenona), nalazimo podzemne (stigobionti/stigofili) te semi-akvatične i kopnene vrste. Vrste ograničene na eukrenal nazivaju

se krenobionti, a vrste koje nastanjuju različita područja krenala, bez isključive ograničenosti na zonu eukrenala nazivamo krenofilima. Vrste povremeno prisutne u izvorima nazivaju se krenoksene vrste (Reiss i Chiffard, 2015). Longitudalne promjene u sastavu i prostornom rasporedu zajednica najvećim dijelom odgovaraju temperaturnim amplitudama koje se povećavaju nizvodno od izvorišta, ovisno o podrijetlu vode, tipu vodonosnika i izdašnosti izvora, temperaturi lokalnog područja i drugim okolišnim čimbenicima (Barquin i Death, 2009). Ovisno o bioregiji, klimi i okolišnim čimbenicima pojavljuju se različiti tipovi zajednica (Botosaneanu, 1998 cit. iz Staudacher i Füreder, 2007; Martin i Brunke, 2012; Reiss i Chiffard, 2015).

1.4. Sastav i značajke zajednica vodenih beskralješnjaka

Zajednicu vodenih beskralješnjaka čini raznolika skupina organizma koji su prema svojim obilježjima i načinu života sastavni dio ekosustava kopnenih voda. Važna su komponenta u istraživanju bioraznolikosti, jer kopnene vode, iako zauzimaju svega 0,8% površine Zemlje, imaju najveći udio vrsta po jedinici površine (3,0 % vrsta / % površine) u odnosu na kopnene (2,7% vrsta / % površine) i morske (0,2% vrsta / % površine) ekosustave (Gottstein i sur., 2009). Organizmi vezani za život na dnu tekućica i stajačica čine bentos. Složena struktura bentoskih zajednica uključuje širok raspon organizama na više razina hranidbenog lanca. Među njima nalazimo detrivore, herbivore i karnivore, koji su prema hranidbenim prilagodbama svrstani u četiri glavne skupine: usitnjivači (shredders), sakupljači (collectors-filter feeders), strugači (grazers-scrapers) i predatori (Minelli i sur., 2002). Aktivno uključeni u proces cirkulacije organske tvari i energije čine važnu komponentu hranidbenog lanca, poveznicu između primarnih proizvođača i sekundarnih potrošača (Tagliapietra i Sigovini, 2010). Hidromorfološka obilježja dna kopnenih voda uvjetovala su razvoj specifičnih strukturalnih prilagodbi prema kojima organizmi zauzimaju različite položaje unutar staništa (Minelli i sur., 2002). S obzirom na to dijele se na faunu unutar sedimenta (infauna) i faunu na površini sedimenta (epifauna). Epifauna uključuje i organizme koji žive sjedilački, pričvršćeni na čvrstu materiju poput kamenja ili submerzne vegetacije. Postoje tri veličinska reda ovih organizama: mikrobentos <0.063 mm, meiobentos 0.063–1.0 (ili 0.5) mm i makrobentos >1.0 mm (ili 0.5 mm) (Tagliapietra i Sigovini, 2010). Posljednjem pripada komponenta makrozoobentosa koju čine životinje raznih skupina, među kojima su najčešće: oblići (Nematoda), mekušci (Mollusca): puževi (Gastropoda) i školjkaši (Bivalvia),

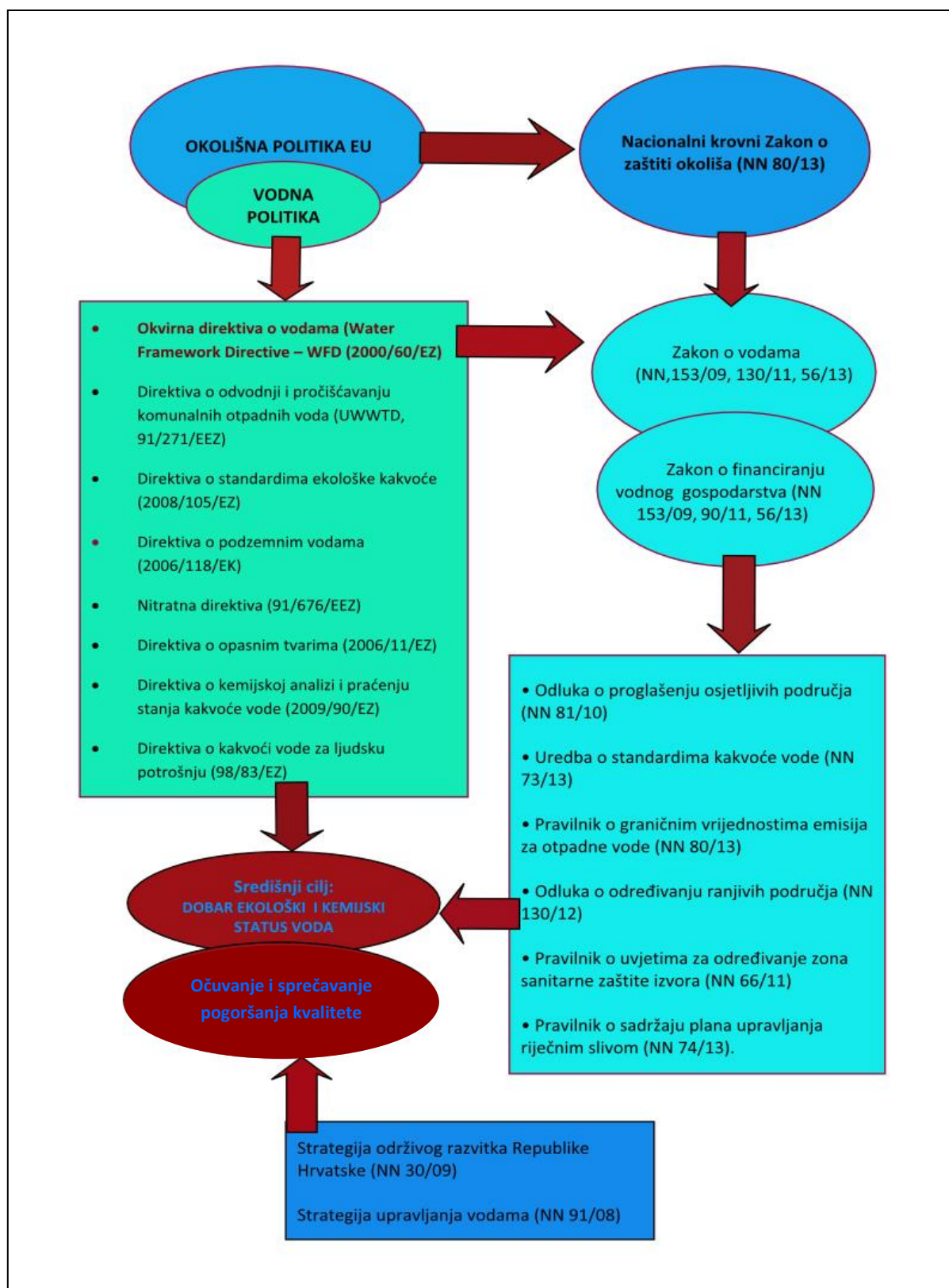
kolutićavci: maločetinaši (Oligochaeta), mnogočetinaši (Polychaeta) i pijavice (Hirudinea), člankonošci (Arthropoda): rakovi (Decapoda, Amphipoda i Isopoda), paučnjaci (Arachnida) i kukci (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera, Coleoptera, Hemiptera, Megaloptera i Odonata) (Giller i Malmqvist, 1998; Tagliapietra i Sigovini, 2010).

Sve navedene skupine nalazimo i na izvorima s naglaskom da su svojstva zajednica izvora ipak znatno složenija (Williams i Williams, 1998). Niz faktora utječe na njihovu distribuciju. Kukci su prisutni u različitim životnim stadijima: jajašca, ličinke, kukuljice. Odraslim oblicima prethodi faza emergencije kada napuštaju vodena staništa prelazeći na kopno. Temperatura i količina protoka određuju dinamiku emergencije što značajno utječe na cjelokupnu strukturu zajednica tijekom godine. Tako je struktura zajednica vodenih beskrležnjaka uvjetovana životnim ciklusom pojedinih organizama te hidromorfološkim i fizikalno-kemijskim obilježjima staništa kao što su u prvom redu temperatura i intezitet protoka (Glazier, 2009; Wood i sur., 2005). Za vode u kršu karakteristične su sezonske varijacije protoka i hidrološke fluktuacije (Arab i sur., 2004; Mori i Bracelj, 2005). S obzirom na to stalne izvore sa stabilnim uvjetima obilježava veća bioraznolikost i brojnost vrsta (Hoffsten i Malmqvist, 2000; Erman, 2002) s tim da je raznolikost zajednica kukaca kod povremenih izvora uglavnom veća s obzirom na njihovu sposobnost lakše kolonizacije područja (Glazier, 2009; Smith i sur., 2003). Također, longitudinalne razlike na potezu izvorište - izvorišni tok uvjetuju različit sastav zajednica. Stabilniji uvjeti unutar izvorišta uvjetuju manju bioraznolikost s velikim brojem jedinki vrsta koje ne emergiraju, te im za opstanak pogoduju stabilni uvjeti. U izvorišnom toku veća varijacija abiotičkih čimbenika uvjetuje manji broj jedinki, ali veću bioraznolikost te je brojnost emergentnih vrsta veća (Dumnicka i sur., 2007; Barquin i Death, 2009; Carroll i Thorp, 2014). Nadalje, na sastav zajednica prema mnogim autorima utječu i drugi čimbenici poput sastava supstrata, prisutne vodene vegetacije, inteziteta osvjetljenja, količine otopljenog kisika, pH vrijednosti vode, količine otopljenih organskih tvari, saliniteta te mnogi drugi (Glazier i Gooch, 1987; Glazier, 2009; Harper i sur., 1995; Reiss i Chiffard, 2015; Smith i sur., 2003; Williams i Williams, 1998). Promjene navedenih ekoloških čimbenika, na koje brzo reagiraju, uvjetuju promjenu sastava, prostornog rasporeda i međudnosa organizama te posljedično i drugih trofičkih odnosa. To ih čini objektivnim pokazateljem u procjeni biološke raznolikosti i kvalitete vode. Na regionalnoj skali povijesni, geografski i geološki uvjeti čine važnu odrednicu u strukturi ovih organizama (Bonettini i Cantonati, 1993; Williams i Williams, 1998).

Također, izvori i okolna izvorska staništa doprinose regionalnoj bioraznolikosti (Callanan i sur., 2014). Odlikuju se malom brojnošću makrozoobentoskih vrsta, ali i prisutnošću izvorskih specijalista (Danks i Williams, 1991 cit. Smith i sur., 2003). Povezani su i ovise o podzemnim vodama koje ih štite od velikih klimatskih oscilacija, što je omogućilo opstanak mnogih reliktnih i endemskih vrsta (Ponder, 1985; Ito, 1998 cit. iz Smith i sur., 2003; Mori i Bracelj, 2005; URL 1). U nekim slučajevima geografski izoliran položaj doveo je do evolucijskih procesa genetske diferencijacije ili promjena u obrascima ponašanja pojedinih vrsta (Glazier, 2009).

1.5. Značaj istraživanja izvora u delti Neretve

Svaki izvor je specifičan i u ekološkom pogledu drugačiji od drugih. Istraživanje zajednica vodenih beskralješnjaka, osim u svrhu temeljnog znanja o njihovoj ekologiji, učinkovita je metoda u procjeni stanja vodenih staništa. Prostor delte Neretve vrlo je specifičan, ali biološko-ekološki nedovoljno istražen, dok mu istovremeno u tom smislu prijeti katastrofa, a status posebne vrijednosti i zaštite vidljiv je uglavnom samo na papiru. Nacionalni zakoni propisani u skladu s okolišnom politikom Europske unije zahtijevaju istraživanja s ciljem provođenja konkretnih akcija za upravljanje i zaštitu vodenih površina (Slika 1). Prethodne studije iskazale su potrebu za daljnjim istraživanjem i valorizacijom ovog područja, istaknuvši i posebnost faune neretvanskih izvora (Mrakovčić i sur., 1995). Iz toga proizlazi potreba za daljnjim razumijevanjem međudnosa vodenih beskralješnjaka i okolišnih čimbenika. U tu svrhu analizirati će se područje krškog izvora Prud u delti Neretve. Status posebnog ornitološkog rezervata okolnog područja s karakterističnom vegetacijom močvarnih staništa (URL 2) dodatno doprinosi važnosti ovakvih istraživanja. Tako će analiza strukture i sastava zajednica izvora Prud s obzirom na njegova specifična hidrogeološka i ekološka obilježja u prostoru intenzivnog antropogenog utjecaja, u usporedbi s dosadašnjim istraživanjem, doprinijeti višeslojnom saznanju o bioraznolikosti i dinamici zajednica vodenih makroskopskih beskralješnjaka tog područja, ali i kvaliteti okoliša, čija je ključna sastavnica. Prethodna faunistička i ekološka valorizacija (Mrakovčić i sur., 1995) te podaci o fizikalno-kemijskim svojstvima vode (Štambuk-Giljanović, 2003) usporedno s rezultatima dobivenim ovim istraživanjem mogu poslužiti u višeslojnom pristupu zaštite samog izvora, ali i prostora s kojim je nedjeljiva cjelina.



Slika 1: Nacionalni zakoni propisani prema strateškim odrednicama Europske unije u cilju očuvanja kvalitete vode.

1.6. Ciljevi istraživanja

Ciljevi ovog diplomskog rada usmjereni su na istraživanje promjene sastava zajednice vodenih beskralješnjaka i ekoloških uvjeta krškog izvora Prud u delti Neretve s obzirom na dinamiku emergencije vodenih kukaca te vegetacijsku sezonu. Prema tome analizom će se:

- utvrditi brojnost pojedinih skupina vodenih beskralješnjaka;
- utvrditi sastav zajednice vodenih beskralješnjaka;
- usporediti sastav zajednice vodenih beskralješnjaka u dominantnom supstratu (makrofitskoj vodenoj vegetaciji) tijekom sezona (četiri godišnja doba);

Usporedbom recentnih podataka s istraživanjima provedenim prije 20-ak godina analizirati će se razlike kako bi utvrdili moguća pogoršanja okolišnih uvjeta uslijed različitih tipova antropogenog utjecaja. Prema tome:

- utvrditi razlike u fizikalno-kemijskim parametrima vode;
- utvrditi razlike u ukupnom broju svojti (UBS);
- utvrditi ekološko stanje na temelju modula saprobnosti koristeći bodovni indeks (BMWP), prošireni biotički indeks (PBI) i hrvatski saprobni indeks (SI_{HR});
- utvrditi ekološko stanje na temelju modula opće degradacije koristeći se EPT-S indeksom, analizom broja porodica (BP) i udjelom predstavnika Oligochaeta (OLI%).

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

2.1. Opis područja istraživanja

2.1.1. Geografske značajke područja delte Neretve

Područje izvora Norinske rijeke pripada desnom zaobalju donjeg toka rijeke Neretve. Donjoneretvansko područje treba promatrati kao fizički i kulturno jedinstven kompleks obilježen izrazitim stupnjem antropogenizacije kojeg obilježava tradicionalni "jendečki" i suvremeni "kazetni" krajolik. Kao posljedica različitih egzogenih procesa u delti Neretve prevladava fluvio-maritimno-krška antropogena morfostruktura. U reljefno raznolikom prostoru na kontaktu rijeke i mora, jezera i močvare, nizine i krša izdvajaju se tri fizionomske cjeline: deltanska-holocenska ravan, krški okvir i obalno-maritimna zona (Curić, 1999).

Neretva je najveća rijeka primorsko krškog područja. Izvire na 1.095 m nadmorske visine u Hercegovini, jugoistočno od Zelengore, a utječe u more kraj Ploča (Ljubenkov i Vranješ, 2012). Nadzemno orografsko slivno područje Neretve iznosi 6.577 km², a cijeli hidrografski sliv oko 12.000 km² (s ukupnom dužinom toka 218 km) od čega je 5.500 km² donji dio, duljine 46 km, nakon ulijeva dvaju velikih pritoka Trebižata i Trebišnjice. Duljina od 22 km pripada području južne Hrvatske. Svojim gornjim tokom protječe kroz teren različitog petrografskog sastava s nepropusnim stijenama, kanjonastog tipa. Donji tok, nizvodno od Čapljine, proširuje se u deltu s Blatijama i kultiviranim površinama te pripada tzv. Jadranskom geomorfološkom pojasu (Slišković, 2014). Prava delta počinje južnije od ušća Krupe (lijevog pritoka), u blizini državne granice. Prvotno formirana korita delte činilo je dvanaest rukavaca, koja su brojnim melioracijski zahvatima do sada svedena na četiri. Danas prostor delte čine tri trokutaska proširenja. Desni čini područje Vidovskog blata unutar trokuta Podgrede-Kula Norinska-Gabela (Curić, 1999; Dekanić i sur., 2015), kojem pripada izvor Prud-Norin.

2.1.2. Razvoj i geološke značajke delte Neretve

Postanak delte određen je tektonskim lomom koji je prekinuo kontinuitet vapnenačko-dolomitnih krških primorski zona, na što ukazuju trokutasta deltasta proširenja koja imaju dinarski smjer pružanja, odnosno nisu nastala meandriranjem rijeke (Curić, 1994). Nekada je

cijelo područje izgledalo bitno drugačije. U vrijeme pleistocena dužina toka rijeka mijenjala se ovisno o pomicanju morske obale pa se tako korito Neretve protezalo uz Stonski rat na Pelješcu, a u more se ulijevala kod Vele Luke na Korčuli. Tek nakon holocena, posljednjih 18.000-10.000 godina, uzdizanjem morske razine za oko 100 m, dolazi do skraćivanja riječnog toka i potapanja riječne doline. Uslijed nižih temperatura i obilnih padalina te topljenja snijega, Neretva je sa svojim pritocima tisućljećima nanosila obilne količine šljunka, pijeska, mulja i sl., koji su se taložili na području ušća (Marčić Brusina, 1963; Ržehak 1957; Švajger 1958). Zaostale fluvio-glacijalne naslage formirale su terase. Danas Neretva, u svom donjem toku od Metkovića, protječe kroz organogeni barski i aluvijalni nanos pijeska i muljevite gline, čineći močvarnu terasu s plitkom hidrografskom mrežom (Slika 2). Takvom krajoliku doprinosi i visoka razina podzemnih voda. Na širem području dominiraju mezozojske naslage gornjeg trijasa, jure, krede, tercijara i kvartara. Iza mezozojskih slijede naslage paleogena koje nalazimo na području Pruda. Najmlađi kvartarni slojevi nalaze se u središnjem dijelu delte. Karakteristično je spuštanje prostora delte Neretve koje je prisutno još i danas (Dekanić i sur., 2015). Krški okvir, s obzirom na njen tok dijelimo na desni i lijevi, a izgrađuju ga sedimenti mezozojske i kenozojske starosti, najvećim dijelom kredni vapnenci u izmjeni s dolomitima (Curić, 1999). Na udaljenijim točkama od rijeke, na oštroj granici s višim krškim prostorom, prisutan je veći broj izvora. Izvori su posljedica podzemnih tokova i donose vodu iz hercegovačkog dijela neretvanskog područja te predstavljaju tip aluvijalnih vrela, a među najobilnije spada izvorište Norinske rijeke u blizini Pruda, sjeveroistočno od Metkovića.

2.1.3. Klima i hidrografske prilike

Specifičan geografski položaj i nizinski reljef unutar krške barijere u blizini Jadranskog mora, uz značajan antropogeni utjecaj (isušivanje močvara) uvelike utječu na klimu u delti Neretve. Klimatske prilike obilježene su maritimnim utjecajem te spadaju u tip mediteranske klime s toplim ljetima i malo padalina te kratkim zimama s obiljem kišnih dana i jakim sjevernim i južnim vjetrovima (prema Köppenovoj klasifikaciji Csa (Curić, 1999)). Karakteristični vjetrovi su jugo, bura i maestral. Srednja godišnja temperatura za područje Metkovića iznosi 15,5 °C. Najhladniji mjesec je siječanj, a najtopliji srpanj. Posljedično se srednja godišnja vrijednost relativne vlage kreće od 60 do 69% (Slišković, 2014), najmanja u srpnju, a najveća u siječnju i prosincu, što znači da su temperatura i količina vlage u obrnuto

proporcionalnom odnosu. Godišnji raspored oborina upućuje na jak utjecaj maritimnog kišnog režima, močvara i jezera. U prosjeku padne više od 1000 mm kiše godišnje. Najkišovitiji mjesec je studeni, najsušni srpanj. Kretanje ciklona i anticiklona karakteristično za južno podneblje direktno utječe na sve vremenske prilike. Ciklone, u hladnijem dijelu godine, povećavaju količinu naoblake, smanjujući insolaciju dok u toplijem dijelu anticiklona dovodi do stabilnijeg vremena s velikim brojem sunčanih sati (2404 h/god) (Curić, 1999).

U skladu s klimom karakterističan je mediteranski režim vodostaja s niskim vodostajem ljeti, a visokim zimi, kada se javlja maksimum. Otapanje snijega na hercegovačkim planinama uvjetuje viši vodostaj u proljeće nego u jesen. Amplitude u donjem su znatno manje od onih u gornjem toku Neretve (kod Opuzena 2,8 m). Protok od Metkovića do Opuzena najveći je u razdoblju od studenog do travnja te utječe na plavljenje riječice Norin (Štambuk-Giljanović, 1998). Na tom potezu Norin čini jedini desni pritok Neretve te je pod stalnim usporom vodostaja Neretve što otežava mjerenje njegovih ulaznih količina (Ljubenković i Vranješ, 2012) što dalje znači da se, osim podzemnim vodama s izvorišta Prud, prihranjuje i vodom Neretve.

Bitno je istaknuti činjenicu kako su, hidrografske, klimatske, a posljedično i sve ostale prilike ovog prostora posljednjih 50-ak godina drastično izmijenjene "suvremenim" melioracijskim zahvatima kojima je isušena močvara te stvorena kanalska mreža u svrhu natapanja polja. Jedinstveno močvarno područje s karakterističnom vegetacijom, prirodnim terasama i rukavcima u velikom dijelu zamijenio je "jendečki", odnosno danas "kazetni" krajolik kultiviranih površina i intenzivne poljoprivrede (Curić, 1999) (Slika 3; Slika 4).



Slika 2: Prirodni krajolik močvarnih terasa u delti Neretve tijekom 50-tih godina 20. stoljeća (izvor: Foto studio Veraja).



Slika 3: Pogled od Opuzena prema Metkoviću; izgled tradicionalnih poljoprivrednih površina i prirodni dijelovi prije provedenih melioracija tijekom 1960. godine (izvor: Foto studio Veraja).



Slika 4: Sadašnji kazetni krajolik melioriranih površina na prostoru delte Neretve (izvor: <http://www.idisturato.com/2012/02/05/stanko-parmac-arhitekt-donje-neretve/>).

2.1.4. Hidrogeološke značajke slivnog područja izvora Prud

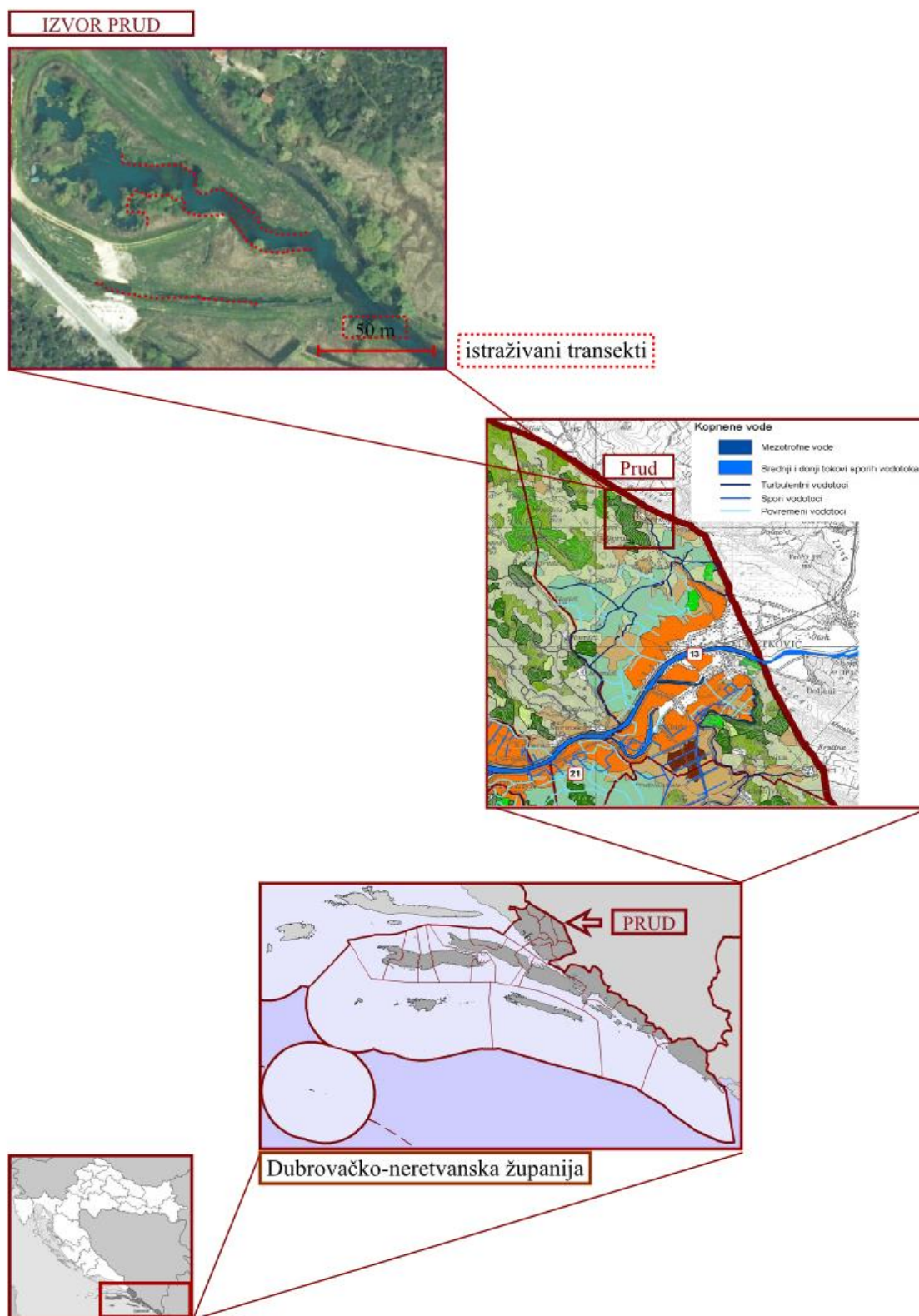
Rijeka Norin izvire na području zaseoka Prud, sjeveroistočno od Metkovića (Slika 5), a ulijeva se u Neretvu kod Kule Norinske, čineći tako njezin desni pritok. Slivno područje izvorišta pripada prostoru dinarskog krša gdje dominiraju vapnenci u izmjeni s dolomitima, koji svojom propusnošću uvjetuju direktno poniranje vode i stvaranje složene hidrografske mreže. Voda se javlja na snažnim krškim vrelima u kontaktu s naslagama eocenskog fliša te krajnje s erozivnim bazama, u ovom slučaju deltom Neretve. Izvor Prud, kao i sve tekućice krških polja i područja delte Neretve, prema ekološkoj podjeli tekućica spada u ekotip 15, podtip A, što označava nizinske male i srednje velike tekućice krških polja (oznaka tipa: HR-R_15A) (Kerovec i sur., 2008). Prud izvire u obliku jezerca, iz konusne vrtače promjera 15 m i dubine 8 m, te s više od 20 izvora jedan je od tri izvorišna sustava delte Neretve (URL 2). Radi se o uzlaznom izvoru s relativno malim oscilacijama $Q_{min} : Q_{maks} = 2,50 : 20,00 \text{ m}^3/\text{s}$. Kao najveći i najznačajniji izvor u donjem toku rijeke Neretve predstavlja okosnicu regionalnog vodoopskrbnog sustava Neretva-Pelješac-Korčula-Lastovo-Mljet s tim da se trenutno koristi samo 10% njegovog kapaciteta (Slišković, 2014). Pripada IV tipu strateških rezervi podzemnih voda (velika izdašnost, malo korištenje, dobra kakvoća, pretežiti dio sliva izvan Hrvatske) (Biondić, 2009). Problematika zaštite podzemne vode vezana je uz definiranje slivnih površina pojedinih izvora. Položaj razvodnica prostorno je zonaran i ovisi o razini podzemne vode (Slišković i sur., 1997). Tijekom viših vodostaja podzemne vode rastuću se u više vodnih cjelina, a u niskim tek u prema dominantnim baznim izvorima. Slivno područje izvora Prud seže 60 km u zaleđe, do razvodnice između crnomorskog i jadranskog sliva, te pripada prekograničnom vodonosniku (Ivičić i Pavičić, 1999; Biondić, 2009). Obuhvaća područje Zabiokovlja od južnog ruba Imotskog polja (najviše stepenice) preko Novih sela, Slivna, Poljica, Kozica, Zavojana, Ravče i Vrgoračkog polja te se lepezasto širi prema desnoj obali Neretve. Podzemne veze javljaju se na izvorima Velike banje u Rastok polju, odakle preko ponora Konjsko, Betina i dr. istječe na povremenom vrelu Klokun u Jezercu, plavi polje i ponovo ponire, te se konačno javlja na izvoru Norin (Slišković, 2014). Tako je, zaštita izvora Norin povezana i sa zaštitom izvora na slivu rijeke Trebižat koja je, osim što se ulijeva u Neretvu kod Čapljine, s njom povezana i preko izvora Norin, gdje dotječe s područja Rastok polja, preko Prologa, Pozle Gore i Novih Sela. Na to ukazuju hidrološka opažanja od Ljubuškog (Humac) do vodopada Kravice, koja pokazuju gubitak vode iz korita ($1,5\text{--}2,2 \text{ m}^3/\text{s}$). Da se podzemne vode iz krških zaravni Šipovače, Vašarovića i Humca te krških polja Rastoka i Jezerca javljaju na izvoru Norin dokazano je i trasiranjem

(Slišković i Ivičić, 1999; Štambuk-Giljanović, 1998). Udaljeniji dio sliva je zajednički, a tek na razini Vrgoračkog polja (najniže stepenice), vrši se otjecanje prema pojedinim izvorima na erozijskoj bazi, dolini Neretve, odnosno moru (Ivičić i Pavičić, 1999). Također na području Podravnice nalazi se niz povremenih izvora koji se izlijevaju u razini Norinske rijeke i Blatija desnog zaobalja Neretve. Cjelokupan sliv ima površinu od cca. 200 km² (Slišković, 2014).

U skladu s geološkom građom kemijski sastav izvora Prud svrstava ga u kalcijsko-hidrogenkarbonatno-sulfatne vode, no zbog značajnog utjecaja mora, zbog čega sezonski prodire morski klin u korito Neretve, dolazi do oscilacije u količini prisutnih klorida (Biondić, 1998; Ljubenković i Vranješ, 2012).



Slika 5: Zaleđe, izvor i izvorišni tok rijeke Norin u naselju Prud (izvor: Foto studio Veraja).



Slika 6: Prikaz područja istraživanja s označenim transektima na izvoru Prud (Izvor podataka za kartografski prikaz granica dubrovačko-neretvanske županije te prostorni raspored staništa: Županijski zavod za prostorno uređenje, Dubrovnik).

2.2. Opis istraživnog lokaliteta

Istraživanje je provedeno duž 100 m obale izvora Prud i gornjeg dijela izvorišnog toka (Slika 6, Slika 7). U Tablici 1 precizno su prikazane uzvodne početne točke istraživnog dijela izvora te datum uzorkovanja.



Slika 7: Izvor Prud tijekom provedbe istraživanja: a) 18.03.2014.; b) 20.05.2015.; c) 18.09.2014. i d) 03.01.2015. (foto. I. Barač i S. Gottstein).

Tablica 1: Prikaz razdoblja istraživanja i koordinata uzvodnih početnih točaka uzorkovanja na izvoru Prud u službenom položajnom referentnom koordinatnom sustavu Republike Hrvatske (HTRS96/TM).

Naziv istraživane postaje	Koordinate	Datumi istraživanja
Vodomjerna postaja Prud	E 591155,125	18.03.2014.*
	N 4773421,625	20.05.2014.*
Izvorišni tok nizvodno od ograđenog vodozaštitnog kruga izvora	E 591154,125 N 4773336,125	20.05.2014.*
Desna obala izvora Prud uz izvorišni otočić	E 591165,625 N 4773369,375	28.06.2014.
		18.09.2014.*
		28.11.2014.
		03.01.2015.*
		09.03.2015.
		08.05.2015.
		21.07.2015.
		21.09.2015.
		27.11.2015.
*datumi koji se odnose na uzorke faune analizirane u ovom diplomskom radu.		

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Materijali

Provedenim terenskim istraživanjima prikupljeni su uzorci zajednice makroskopskih vodenih beskralježnjaka, makrofitske vodene vegetacije te izmjereni fizikalno–kemijski parametri prema smjernicama zakonski propisanog dokumenta „Metodologija uzorkovanja, laboratorijskih analiza i određivanja omjera ekološke kakvoće bioloških elemenata kakvoće“. U svrhu utvrđivanja promjena okolišnih uvjeta područja izvora Prud korišteni su podaci prijašnjih istraživanja, provedenih prije 20-ak godina (Mrakovčić i sur., 1995; Štambuk-Giljanović, 2003) te recentni podaci fizikalno-kemijskih parametara iz Nacionalnog monitoringa Hrvatskih voda.

3.2. Dinamika terenskih istraživanja

Terenska istraživanja provedena su u razdoblju od ožujka 2014. do studenog 2015. godine. Četiri sezonska uzorkovanja duž izvorišta u ožujku, svibanju i rujnu 2014. te siječnju 2015. godine određena su za analizu makrozoobentosa, a za analizu fizikalno-kemijskih parametara korišteni su podaci uzorkovanja u razdoblju od ožujka 2014. do studenog 2015. godine, u cilju preciznog određivanja okolišnih uvjeta. Uzorkovanje makrofita provodilo se u vrijeme vegetacijske sezone u svibnju, lipnju i rujnu 2014. godine.

3.3. Metode terenskih istraživanja

3.3.1. Uzorkovanje i pohrana bioloških uzoraka

Prikupljeno je ukupno 60 poduzoraka vodenih makroskopskih beskralježnjaka kracer mrežom (25×25 cm) veličine oka 200 µm na raspoloživim mikrostaništima duž izvora i izvorišnog toka rijeke Norin (Prud) u dužini od 100 m (Slika 8). Uzorkovanje je provedeno prema modificiranom AQEM protokolu, gdje su uzorci s pojedinih tipova supstrata odvajani, no zbog dominacije fitala i nemogućnosti uniformnog zahvaćanja mineralnog dijela supstrata svi su uzorci jedinstveni (mineralni supstrat je psamopelal ili muljevito-glinoviti do pjeskoviti supstrat (<0,063 mm – 0,2 mm) na kojem je prisutan organski supstrat s dominacijom submerzne makrofitske vegetacije koja je djelomično iznad vode ili potpuno ispod vode i u

kojoj su prikupljeni uzorci obrađeni u uvom diplomskom radu). Uzorkovana površina mjesečnih uzoraka je iznosila od 0,625 (10 poduzoraka) do 1,25 m² (20 poduzoraka). Prikupljenih 10-20 replikativnih poduzoraka čine 100% ukupnog mjesečnog uzorka na mikrostaništima koja imaju zastupljenost veću od 5% na analiziranom odsječku vodotoka. Otvor mreže usmjeren je prema uzvodnom dijelu toka. Uzorci su prikupljeni podizanjem sedimenta (argilala) s makrofitskom vegetacijom s dna izvorišnog toka snažnim udaranjem okvira mreže po dnu obraslom makrofitskom vodenom vegetacijom uzvodno od otvora mreže, pri čemu prikupljenu faunu struja vode otplavi u mrežu. Primjenom novoosmišljene tzv. „partvish“ metode, fauna je skidana s vegetacije ispred otvora mreže laganim pokretima metlom. Zbog dominantnog udjela fitala nakon uzorkovanja bilo je potrebno detaljno isprati i pregledati makrofitsku vodenu vegetaciju u kanti i bijelim kadicama ispunjenim vodom. Uzorci su konzervirani na terenu 96% etanolom, te pohranjeni u plastične bočice na koje je prethodno napisan naziv lokaliteta, tip supstrata, datum uzorkovanja i broj poduzoraka.

Makrofitska vodena vegetacija uzorkovana je u cilju određivanja kvalitativnog sastava zajednice. Uzorkovanje se provodilo uzvodno duž lijeve i desne obale izvora. Za ocjenu učestalosti pojedinih vodenih makrofita na terenu se koristila peterostupanjska skala po Kohler-u (Tablica 2). Procjene po Kohleru su provedene samo za submerze i emerzne vodene makrofitske vrste biljaka, dok za hidrofitu u poplavnoj zoni izvora nisu rađene procjene. Vodene biljke su u živom stanju transportirane u plastičnim vrećicama s oznakom naziva lokaliteta, datumom i točkom uzorkovanja nakon čega se u laboratoriju provodila precizna determinacija uz pomoć stereo lupe, mikroskopa i determinacijskih ključeva.

Tablica 2: Skala po Kohler-u (1978) za procjenu brojnosti vodenih makrofita

Ocjena brojnosti vrsta	Opis	Objašnjenje
1	Vrlo rijetko, pojedinačno	Samo pojedinačne biljke, do 5 jedinki
2	Rijetko	Od 6 do 10 jedinki, rahlo razdijeljenih po istraživanoj površini ili do 5 pojedinačnih sastojina (10%)
3	Rašireno	Ne može se previdjeti, ali nije česta vrsta; "može se naći a da se posebno ne traži" (10 - 25%)
4	Često	Česta vrsta, ali ne masovna; nepotpuna pokrovnost s velikim prazninama (25 - 50%)
5	Vrlo često, masovno	Dominantna vrsta, manje-više posvuda; pokrovnost znatno veća od 50%



Slika 8: Prikaz metodologije istraživanja na izvoru Prud: a) uzorkovanje makrofita i makrozoobentosa kracerom na lijevoj obali (20.05. 2014.); b) uzorkovanje makrofita i makrozoobentosa kracerom na desnoj obali (21.07.2015.); c) izolacija vodenih makrofita iz uzorka (21.09.2015.); d) procjeđivanje uzorka zoobentosa kroz bentos mrežu (27.11.2015.); e) skidanje obraštaja s vodene vegetacije; f) utvrđivanje trase s GPS uređajem (foto. I. Barač (a-e) i S. Gottstein (f)).

3.3.2. Mjerenje fizikalno-kemijskih parametara

Na terenu su izmjereni osnovni fizikalno–kemijski čimbenici vode primjenom digitalnog WTW multi-instrumenta 3430 F:

- digitalnom pH elektrodom SenTix 940 mjeren je pH vode;
- digitalnom sondom TetraCon 925 mjerena je električna provodnost vode (μScm^{-1}) i salinitet (‰);
- optičkom sondom FDO 925 mjerena je količina otopljenog kisika u vodi (mgL^{-1}) te zasićenje vode kisikom (%).

Brzina strujanja vode (ms^{-1}) mjerena je brzinomjerom Dostmann electronic P600. Titracijom 100 ml uzorka vode s 0,1 M kloridnom kiselinom uz indikator „metil oranž“ (methyl orange) izmjeren je alkalinitet (kasnije izražavan u $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$) prema standardnom protokolu (APHA, 1995).

3.4. Metode laboratorijskih istraživanja

U laboratoriju na binokularnoj lupi XTL-3400D su izolirane jedinke pojedinih skupina vodenih makroskopskih beskralješnjaka te je utvrđen ukupan broj jedinki u svakom uzorku. Jedinke razvrstane po skupinama pohranjene su u epruvete sa 75%-tnim etanolom u koje je prethodno stavljena etiketa od pauza s nazivom sistematske kategorije, datumom i mjestom uzorkovanja, nazivom supstrata i brojem poduzoraka te je zabilježen broj jedinki svake skupine. Determinacija do razine skupina i porodica provedena je uz pomoć determinacijskih ključeva Campaioli i sur. (1994), Kerovac (1986) i Sansoni i Ghetti (1992). Potom su jedinke determinirane do najniže sistematske razine potrebne za ostvarivanje cilja istraživanja. Međutim nije bilo moguće determinirati sve prikupljene jedinke iz utvrđenih skupina što je utjecalo na krajnje rezultate analize sastava i raznolikosti zajednice makroskopskih beskralješnjaka te ekološkog stanja izvora Prud.

3.5. Analiza podataka

3.5.1. Analiza fizikalno-kemijskih parametara

Podaci o fizikalno-kemijskim obilježjima vode unešeni su u Microsoft Excel 10 gdje su izračunate osnovne vrijednosti opisne statistike za pojedine parametre (Min-minimalna vrijednost, Max-maksimalna vrijednost, SV-srednja vrijednost, SD-standardna devijacija, SP-standardna pogreška i koeficijent varijabilnosti). U programu Stat.Soft Statistica 12 analizirane su korelacije između parametara. Izmjerene vrijednosti pojedinih parametara prikazane su pomoću linijskih grafova.

3.5.2. Analiza zajednice vodenih makrofita

Analiza sastava zajednica vodenih makrofita provedena je procijenom pokrovnosti pojedinih vrsta na terenu na temelju čega se ocjenjivala njihova učestalost prema peterostupanjskoj ljestvici po Kohleru (1978). Rasprostranjenost pojedinih vrsta prikazana je pomoću karte.

3.5.3. Analiza zajednice vodenih makroskopskih beskralješnjaka

Kvantitativna analiza sastava zajednice makroskopskih beskralješnjaka provodila se u računalnim programima Microsoft Excel 10, Primer v.6 i Asterics 4.0.4. Podaci o brojnosti jedinki pojedinih skupina unešeni su u Microsoft Excel 10 gdje je izračunata gustoća jedinki po 1 m². Rezultati su prikazani pomoću stupičastih grafova kako bi se usporedila brojnost jedinki i relativni udjeli po skupinama. Kako bi se utvrdila raznolikost zajednice tijekom istraživanih sezona izračunati su sljedeći indeksi: Shannon-Wienerov (H') i Simpsonov indeks raznolikosti (λ), te Pielouov indeks ujednačenosti (J'), koristeći programski paket Primer v.6 (Clarke i Gorley, 2006).

Shannon-Wienerov indeks raznolikosti (H') - za uspoređivanje zajednice unutar različitih sezona, prema formuli: $H' = -\sum p_i \ln(p_i)$

gdje je: p_i - udio jedinki vrste i u zajednici.

Simpsonov indeks raznolikosti (λ) - za izražavanje vjerojatnosti da dvije slučajno odabrane jedinke iz zajednice pripadaju različitim kategorijama (vrstama), prema formuli: $\lambda = \sum (n_i / N)^2$

gdje je: n_i - ukupni broj jedinki vrste i

N - ukupan broj jedinki svih vrsta.

Ovi indeksi određuju raznolikost kao vjerojatnost da će dvije jedinke nasumično odabrane iz zajednice biti različite vrste, a razlikuju se po tome što je prvi osjetljiviji na brojnost rijetkih vrsta, a drugi na brojnost dominantnih vrsta.

Pielouov index ujednačenosti zajednice (J') - predstavlja omjer izračunate raznolikosti zajednice i maksimalne moguće raznolikosti zajednice (zastupljenost svih vrsta u jednakim udjelima), prema formuli: $J' = H' / \log(S)$

gdje je: H' - Shannon-Wienerov indeks,

S - ukupni broj vrsta u zajednici.

3.6. Ocjena ekološkog stanja izvora Prud

Ocjena ekološkog stanja izvora Prud provodila se na temelju određivanja dva modula za biološke elemente kakvoće:

Saprobnost - određivanje razine opterećenja tekućice organskim tvarima

Opća degradacija - određivanje ukupnih antropogenih promjena

Za ocjenu razine opterećenja organskim tvarima računali su se sljedeći indeksi:

Ukupan broj svojti (UBS) - indeks koji ukazuje na sastav zajednice pri čemu smanjenje raznolikosti zajednice ukazuje na degradaciju i onečišćenje, posebno organskim tvarima.

Hrvatski saprobni indeks (SI_{HR}) - indeks koji ukazuje na opterećenje lako razgradljivim organskim tvarima, odnosno na saprobnost.

BMWP bodovni indeks (BMWP) - indeks koji uzima u obzir toleranciju prema onečišćenju pojedinih porodica prisutnih u uzorku, a vrijednost mu se dobiva zbrajanjem bodova pojedinih porodica.

Prošireni biotički indeks (PBI) - biološki indeks čija vrijednost ovisi o prisutnosti predstavnika pojedinih skupina različite osjetljivosti na organsko onečišćenje, počevši od onih najosjetljivijih prema tolerantnim te o broju svojti u uzorku.

Za ocjenu opće degradacije staništa računali su se sljedeći indeksi:

Shannon-Wiener indeks raznolikosti (H) - predstavlja matematički izraz kojim se mjeri struktura zajednice, a temelji se na brojnosti i ujednačenosti vrsta.

Broj svojti Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT-S) - indeks koji ukazuje na ukupnu degradaciju vodotoka, jer su skupine Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera svojte osjetljive na različite degradacije i onečišćenja, a posebno na smanjenje količine kisika i smanjenje brzine strujanja vode.

Broj porodica (BP) - indeks koji ukazuje na raznolikost zajednice pa manji broj porodica upućuje na tipove staništa koja su nepovoljna za opstanak mnogih vrsta, što je posljedica onečišćenja, ali i opće degradacije vodotoka.

Udio Oligochaeta u makrozoobentosu (OLI %) – indeks koji ukazuje na prisutnost velike količine detritusa budući da predstavnici ove skupine preferiraju takve uvjete. Ovisno o podrijetlu organskih tvari veći udio Oligochaeta može i ne mora ukazivati na onečišćenje i degradaciju staništa.

Da bi se odredilo ekološko stanje bilo je potrebno u obzir uzeti i tip tekućice kojem pripada izvor Prud i činjenicu da je za izvore zbog njegovih prirodnih obilježja karakteristična manja brojnost vrsta. Za izračun pojedinih indeksa korišten je računalni program ASTERICS 4.0.4. Dobivene vrijednosti normalizirane su prema formulama za izračun omjera ekološke kakvoće svakog indeksa (OEK) kako bi se na temelju toga izračunale vrijednosti potrebnih modula za odgovarajući tip tekućice (stvarna vrijednost-najlošija vrijednost/referentna vrijednost-najlošija vrijednost). Referentne vrijednosti propisane su u „Metodologiji uzorkovanja, laboratorijskih analiza i izražavanja omjera ekološke kakvoće bioloških elemenata kakvoće“. Međutim, vrijednosti pojedinih indeksa nisu precizne, jer nisu sve skupine

determinirane do nižih sistematskih kategorija. Izostale su determinacije skupina Plecoptera i Trichoptera, zbog čega vrijednost EPT-S indeksa nije precizna, što je u određenoj mjeri izmijenilo krajnje rezultate za ocjenu modula opće degradacije.

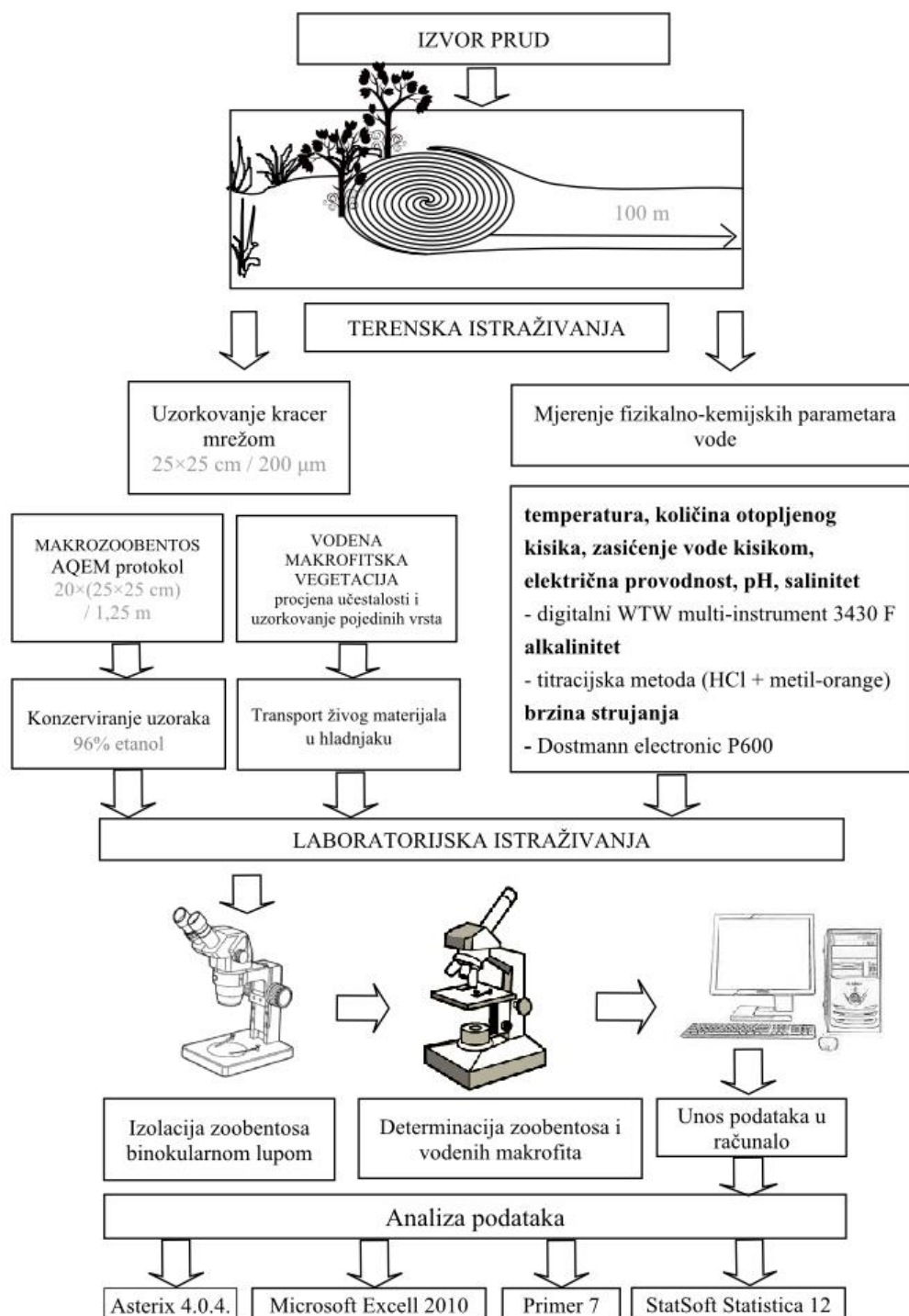
Ocjena ekološkog stanja na temelju fizikalno-kemijskih elemenata kakvoće

Podaci o vrijednostima fizikalno-kemijskih parametara (pH, KPK) dobivene su ovim istraživanjem dok su podaci o srednjim vrijednostima pojedinih hranjivih i specifičnih onečišćujućih tvari na izvoru Prud preuzete iz Nacionalnog monitoringa Hrvatskih voda za razdoblje od 2009. do 2013. godine, te su srednje vrijednosti uzete kao relevantne recentnim mjerenjima.

3.7. Usporedba s podacima prethodnih faunističkih istraživanja

Prema podacima prijašnjih istraživanja na izvoru Prud u razdoblju od travnja 1993. do kolovoza 1995. godine, provedene su slične analize sastava zajednice vodenih makroskopskih beskralješnjaka te su rezultati uspoređeni s onima iz recentnih istraživanja. Međutim, važno je istaknuti razliku u prijašnjoj metodologiji u odnosu na onu koja se primjenjuje danas. Uzorkovanje na izvoru Prud prije 20-ak godina provedeno je primjenom Ekmanovog bagera (15x15 cm) na dominantom dostupnom supstratu (argilal) te je u dužem vremenskom razdoblju (travanj 1993., travanj, prosinac 1994., travanj, lipanj, kolovoz 1995.) prikupljen po jedan mjesečni uzorak (ukupno 7 uzoraka). Nadalje, razina determinacije značajno je niža nego u recentnim istraživanjima, što je utjecalo na analize sastava zajednice. Zbog razlike u metodologiji i količini podataka za usporedbu sastava i gustoće zajednice prijašnjeg i recentnog istraživanja, provedeni su neparametrijski testovi. Određene su akumulacijske i rarefakcijske krivulje na osnovi prikupljenih uzoraka. Akumulacijskom krivuljom prikazan je kumulativni broj svojti, dok je rarefakcijom provedena standardizacija uzoraka što se do sada pokazalo kao učinkovita metoda pri uspoređivanju podataka koji se znatno razlikuju prema primijenjenoj metodologiji ili količini obrađenog materijala (Colwell, 2009). Na temelju toga se dobio uvid u učinkovitost pojedine metodologije pri procjeni sastava zajednica makroskopskih beskralješnjakana izvoru Prud, što je važno pri procjeni ekološkog stanja.

Cjelokupna metodologija ovog istraživanja shematski je prikazana na Slici 9 korištenjem Serif Draw Plus Starter Edition programa.



Slika 9: Shema metodologije istraživanja i analize podataka s izvora Prud.

4. REZULTATI

4.1. Fizikalno-kemijska obilježja vode izvora Prud

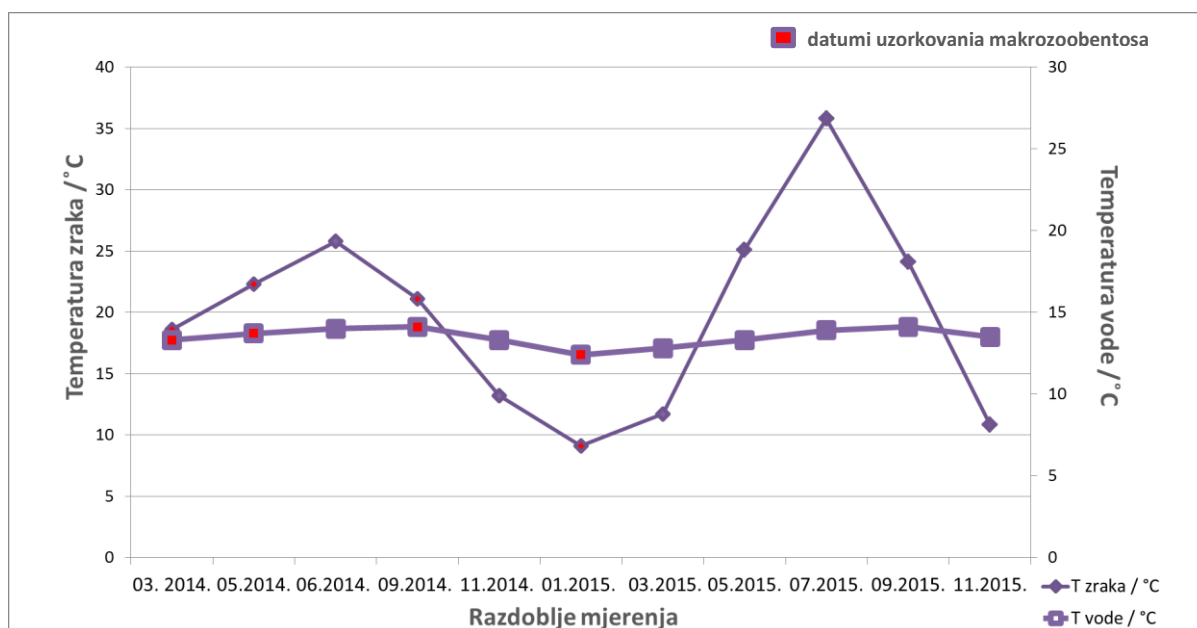
4.1.1. Temperatura

Na području izvora Prud tijekom razdoblja istraživanja zabilježena su sezonska kolebanja u temperaturi zraka u rasponu od 26,7 °C. Tijekom 2014. godine temperaturne varijacije znatno su niže, dok su 2015. godine zabilježene značajne sezonske razlike s iznadprosječno toplim ljetom. Srednja vrijednost temperature zraka iznosila je 19,8 °C, s minimalnom vrijednosti u siječnju i maksimalnom u srpnju 2015. godine (Tablica 3).

Srednja vrijednost temperature vode u razdoblju istraživanja iznosila je 13,5°C s neznatnim odstupanjem tijekom sezona (1,7°C). Minimalna vrijednost zabilježena je u siječnju (12,4 °C), a maksimalna u rujnu 2015. godine (14,1 °C). Temperatura vode niža je od temperature zraka tijekom ljetnih, a viša tijekom zimskih i ranoproljetnih mjeseci (Tablica 3; Slika 10).

Tablica 3: Raspon vrijednosti temperature zraka (°C) i temperaturu vode (°C) izvora Prud.

Izvor Prud	Min	Max	SV	SD	SP	Koeficijent varijabilnosti
T zraka / °C	9,1	35,8	19,78	8,08	2,44	40,84
T vode / °C	12,4	14,1	13,49	0,55	0,16	4,05



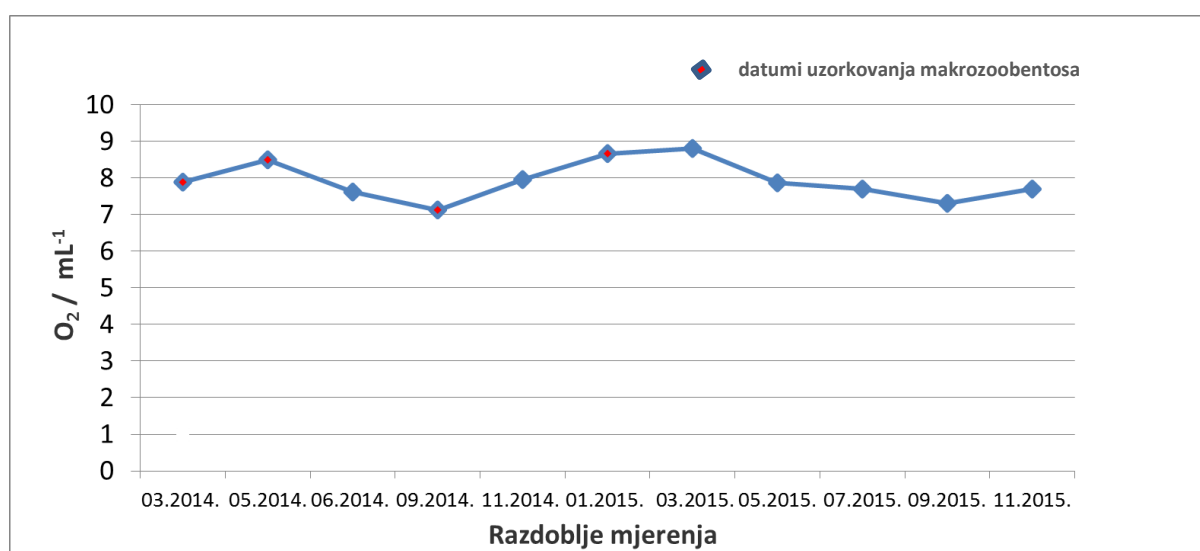
Slika 10: Usporedba temperature vode (°C) i temperature zraka (°C) na izvoru Prud u razdoblju od ožujka 2014. do studenog 2015. godine.

4.1.2. Koncentracija otopljenog kisika

Zabilježena su manja sezonska kolebanja koncentracije otopljenog kisika u vodi (O_2 / mgL^{-1}) u iznosu od $1,68 \text{ mgL}^{-1}$. Srednja vrijednost koncentracije otopljenog kisika u vodi iznosi $7,88 \text{ mgL}^{-1}$. Minimalna vrijednost je zabilježena u rujnu 2014. godine ($7,13 \text{ mgL}^{-1}$), a maksimalna u ožujku 2015. godine ($8,81 \text{ mgL}^{-1}$) (Tablica 4; Slika 11).

Tablica 4 : Raspon vrijednosti koncentracije otopljenog kisika u vodi (mgL^{-1}) na izvoru Prud.

Izvor Prud	Min	Max	SV	SD	SP	Koeficijent varijabilnosti
O_2 / mgL^{-1}	7,13	8,81	7,92	0,54	0,16	6,77



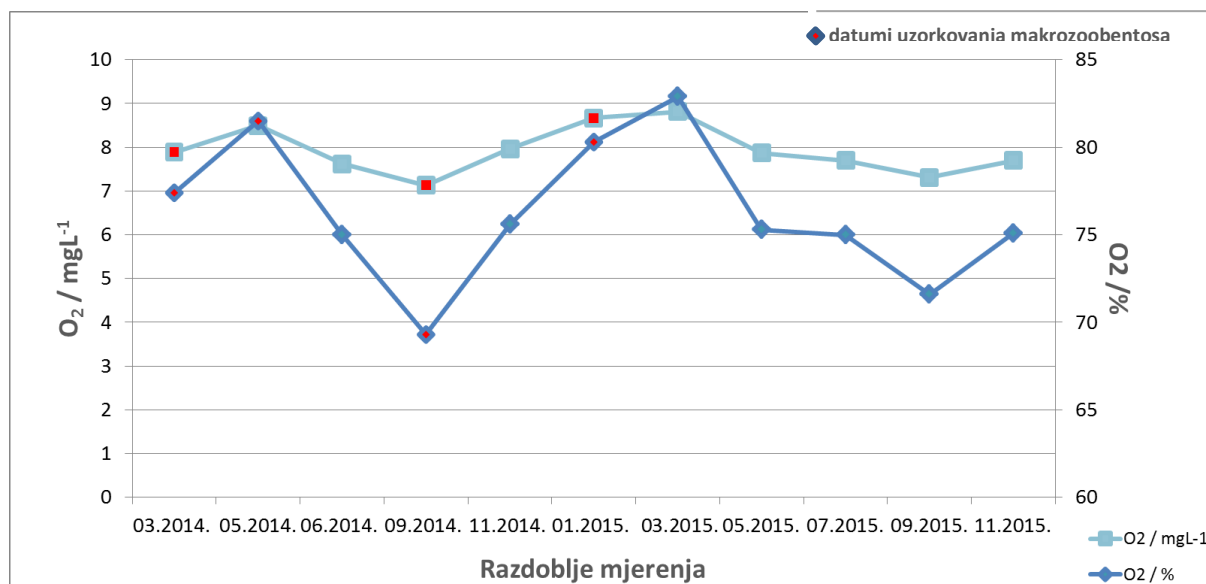
Slika 11: Koncentracija otopljenog kisika (mg L^{-1}) u vodi na izvoru Prud u razdoblju od ožujka 2014. do studenog 2015. godine.

4.1.3. Zasićenje vode kisikom

Nisu zabilježena značajna kolebanja u zasićenosti vode kisikom na izvoru Prud. Razlika između najviše i najniže vrijednosti iznosi 13,6%. Minimum je zabilježen u rujnu 2014. (75%), a maksimum u ožujku 2015. godine (72,9%) (Tablica 5). Zasićenje vode kisikom je u suglasju s koncentracijom otopljenog kiska u vodi (Slika 12).

Tablica 5: Raspon vrijednosti zasićenja vode kisikom (%) na izvoru Prud.

Izvor Prud	Min	Max	SV	SD	SP	Koeficijent varijabilnosti
O ₂ / %	69,3	82,9	76,27	4,06	1,23	5,33



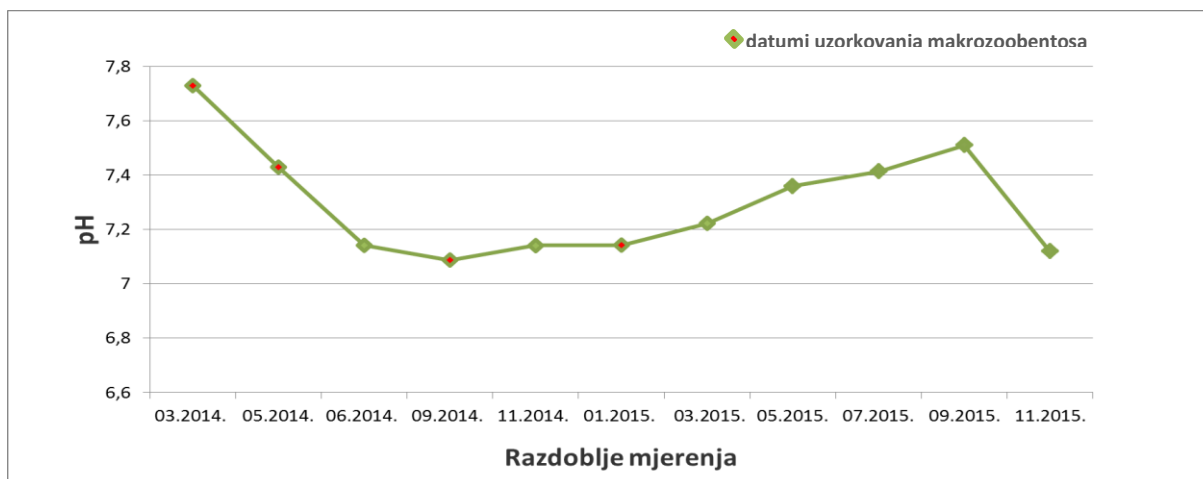
Slika 12: Zasićenje vode kisikom (%) i koncentracija otopljenog kisika (mgL⁻¹) u vodi na izvoru Prud u razdoblju od ožujaka 2014. do studenog 2015. godine.

4.1.4. pH vrijednost vode

Nisu zabilježena značajna sezonska kolebanja pH vrijednosti vode na izvoru Prud (0,65), te su svojstva vode blago lužnata. Koncentracija otopljenih vodikovih iona najniža je u ožujku (7,73), a najviša u rujnu 2014. godine (7,08) (Tablica 6; Slika 13).

Tablica 6: Raspon pH vrijednosti vode na izvoru Prud.

Izvor Prud	Min	Max	SV	SD	SP	Koeficijent varijabilnost
pH	7,09	7,73	7,31	0,21	0,06	2,81



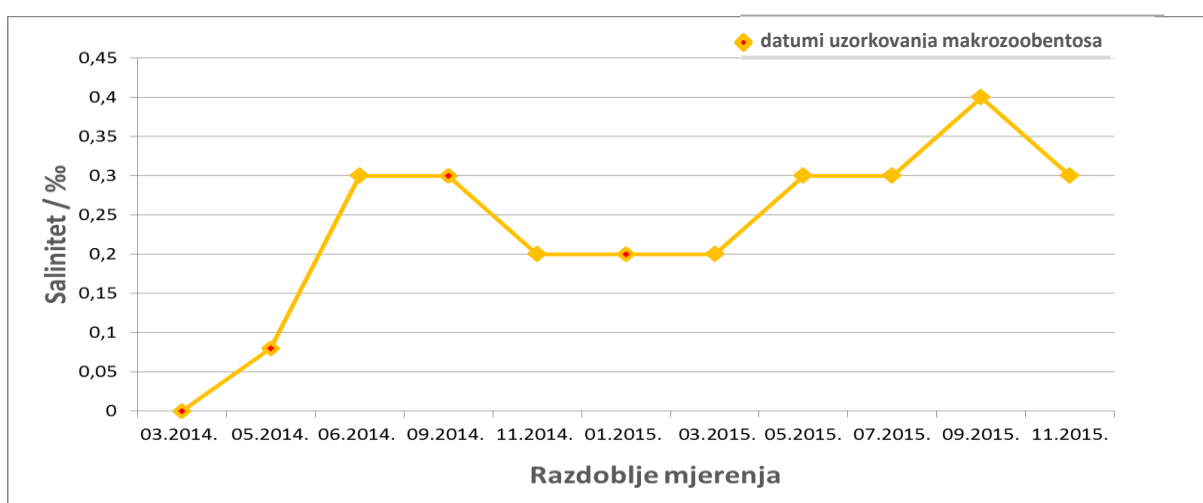
Slika 13: Izmjerene pH vrijednosti vode na izvoru Prud u razdoblju od ožujka 2014. do studenog 2015. godine.

4.1.5. Salinitet

Zabilježene su niske vrijednosti saliniteta (‰) na izvoru Prud. Najniže vrijednosti zabilježene su u razdoblju proljetnih i zimskih mjeseci s blagim porastom u ljetnom i ranom jesenskom razdoblju (Tablica 7; Slika 14).

Tablica 7: Raspon vrijednosti saliniteta (‰) na izvoru Prud

Izvor Prud	Min	Max	SV	SD	SP	Koeficijent varijabilnosti
Salinitet / ‰	0	0,41	0,23	0,11	0,03	48,85



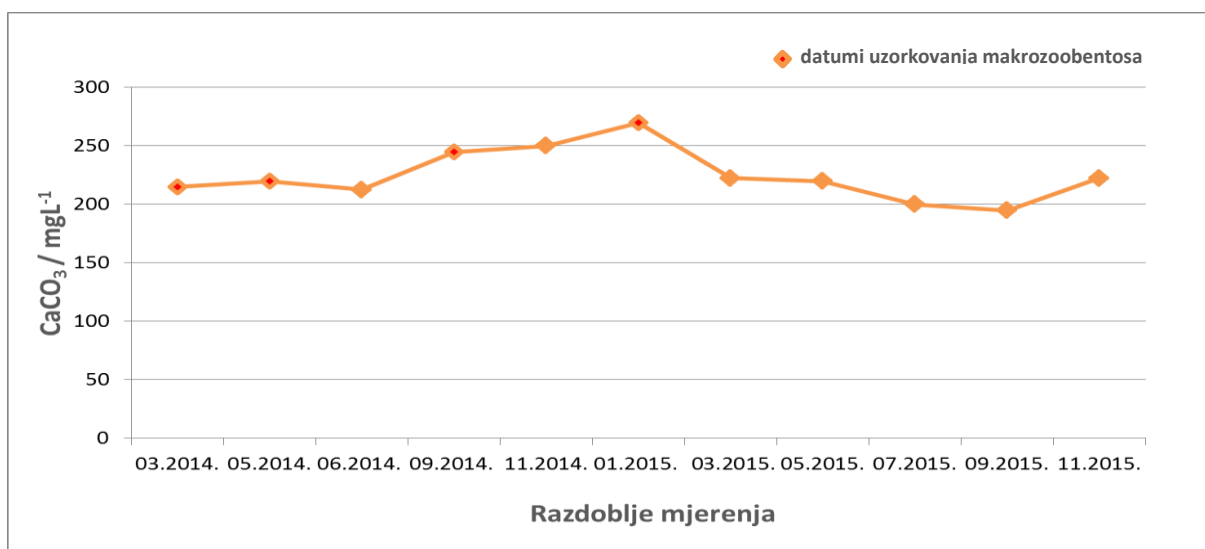
Slika 14: Vrijednosti saliniteta na izvoru Prud od ožujka 2014. do studenog 2015. godine.

4.1.6. Alkalinitet vode

Izmjerene koncentracije CaCO_3 (mg L^{-1}) ukazuju na manja kolebanja alkaliniteta vode s približno jednakim vrijednostima unutar sezona (Slika 15). Minimalna vrijednost CaCO_3 u vodi (195 mg L^{-1}) zabilježena je u rujnu, a maksimalna vrijednost CaCO_3 (270 mg L^{-1}) u siječnju 2015. Godine (Tablica 8).

Tablica 8: Raspon vrijednosti alkaliniteta vode ($\text{CaCO}_3 / \text{mgL}^{-1}$) izvora Prud

Izvor Prud	Min	Max	SV	SD	SP	Koeficijent varijabilnost
$\text{CaCO}_3 / \text{mg L}^{-1}$	195	270	224,77	22,12	6,67	9,84



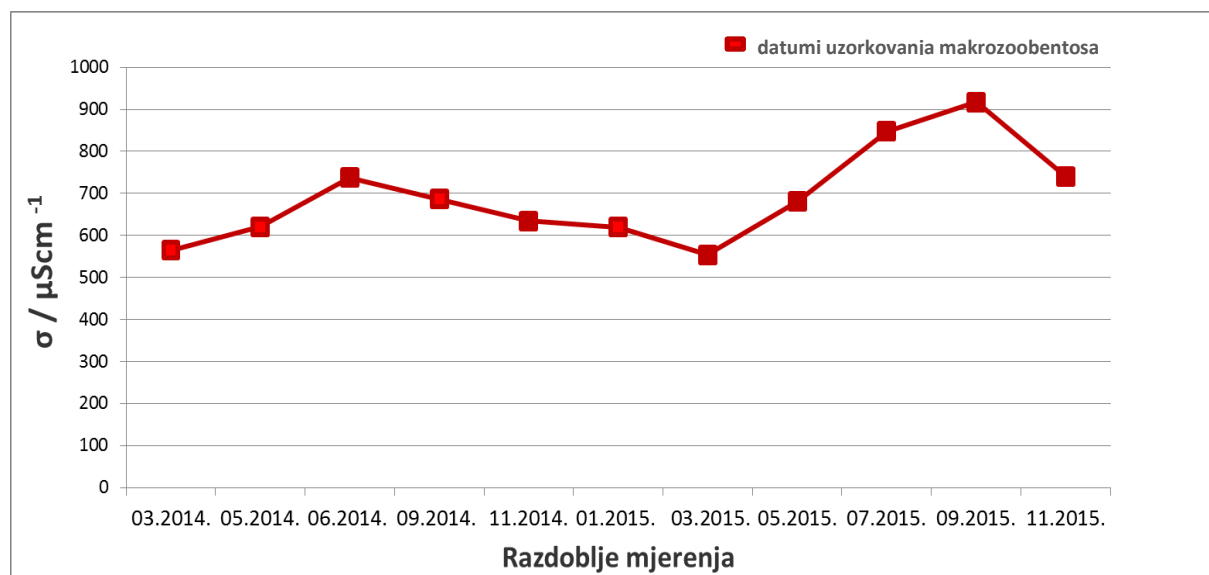
Slika 15: Koncentracija CaCO_3 (mg L^{-1}) na izvoru Prud u razdoblju od ožujka 2014. do studenog 2015. godine.

4.1.7. Električna provodnost vode

Razlika minimalne i maksimalne vrijednosti električne provodnosti vode izvora Prud iznosi $363 \mu\text{S cm}^{-1}$ s minimalnom vrijednosti zabilježenom u ožujku 2014. ($554 \mu\text{S cm}^{-1}$) i maksimalnom u rujnu 2015. godine ($917 \mu\text{S cm}^{-1}$) (Tablica 9; Slika 16).

Tablica 9: Raspon vrijednosti električne provodnosti vode ($\mu\text{S cm}^{-1}$) izvora Prud.

Izvor Prud	Min	Max	SV	SD	SP	Koeficijent varijabilnosti
$\sigma / \mu\text{Scm}^{-1}$	554	917	691,58	113,26	34,15	16,38



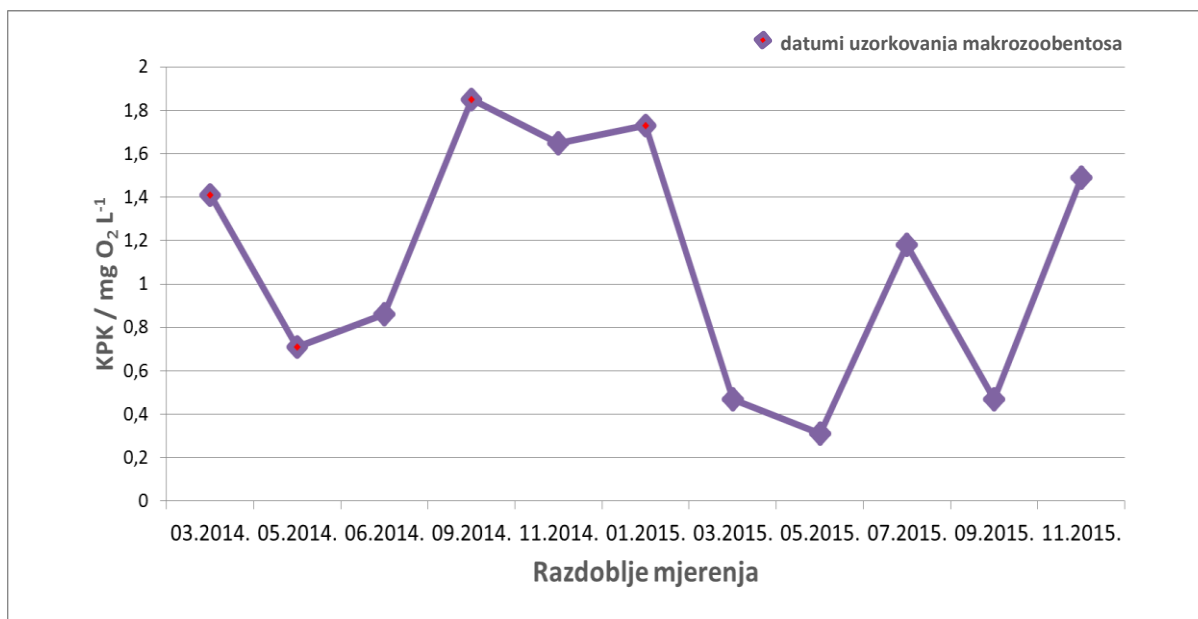
Slika 16: Električna provodnost vode (μScm^{-1}) izmjerena na izvoru Prud u razdoblju od ožujka 2014. do studenog 2015. godine.

4.1.8. Koncentracija otopljene organske tvari u vodi

Kemijska potrošnja kisika iz kalijeva permanganata (KMnO_4) ekvivalentna je koncentraciji otopljene organske tvari. KPK vrijednosti mjerene na izvoru Prud ne pokazuju značajne razlike tijekom razdoblja mjerenja te su općenito niske. Srednja vrijednost iznosi $1,10 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$. Vrijednosti rastu tijekom ljetnih mjeseci. Maksimalna vrijednost ($1,85 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$) zabilježena je u rujnu 2014., a minimalna ($0,31 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$) u svibnju 2015. godine (Tablica 10; Slika 17).

Tablica 10: Raspon vrijednosti otopljene organske tvari u vodi (KPK) na izvoru Prud.

Izvor Prud	Min	Max	SV	SD	SP	Koeficijent varijabilnosti
$\text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$	0,31	1,85	1,10	0,56	0,17	50,85



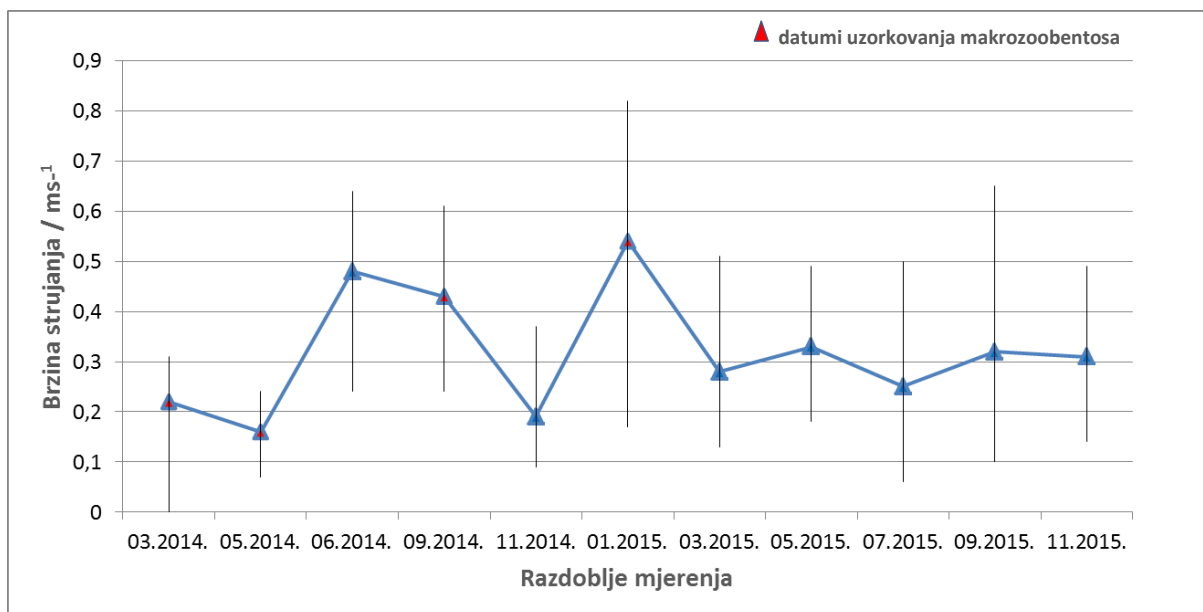
Slika 17: KPK (mg L⁻¹) vrijednosti izmjerene na izvoru Prud u razdoblju od ožujka 2014. do studenog 2015. godine.

4.1.9. Brzina strujanja vode

Najniže vrijednosti brzine strujanja vode zabilježene su tijekom proljetnih mjeseci, a najviše tijekom ljetnih i zimskih mjeseci, s maksimalnom brzinom strujanja u siječnju 2015. godine (0,82 m/s). Minimalne vrijednosti izmjerene su u svibnju 2014. godine (Tablica 11; Slika 18).

Tablica 11: Raspon vrijednosti minimalne, maksimalne i prosječne brzine strujanja vode

Izvor Prud	Min	Max	SV	SD	SP	Koeficijent varijabilnosti
m / s – min	0	0,24	0,13	0,08	0,02	58,12
m / s – max	0,24	0,82	0,51	0,17	0,05	32,46
m / s - average	0,16	0,54	0,32	0,12	0,04	37,78



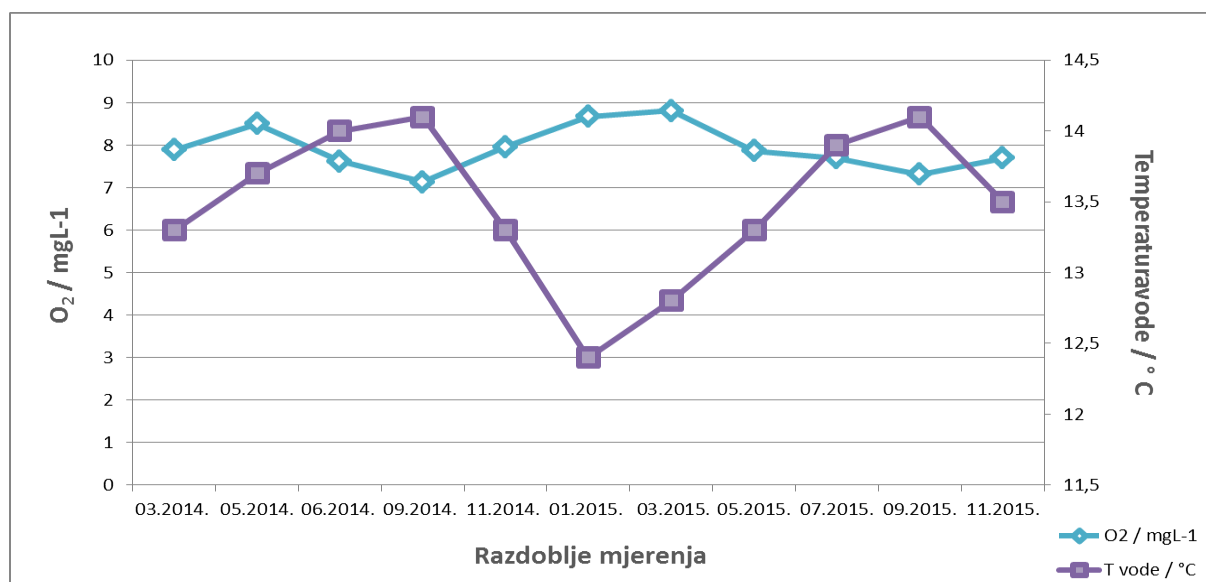
Slika 18: Maksimalna, minimalna i prosječna brzina strujanja vode izmjerana na izvoru Prud od ožujka 2014. do studenog 2015. godine.

4.1.10. Odnos fizikalno-kemijskih parametara

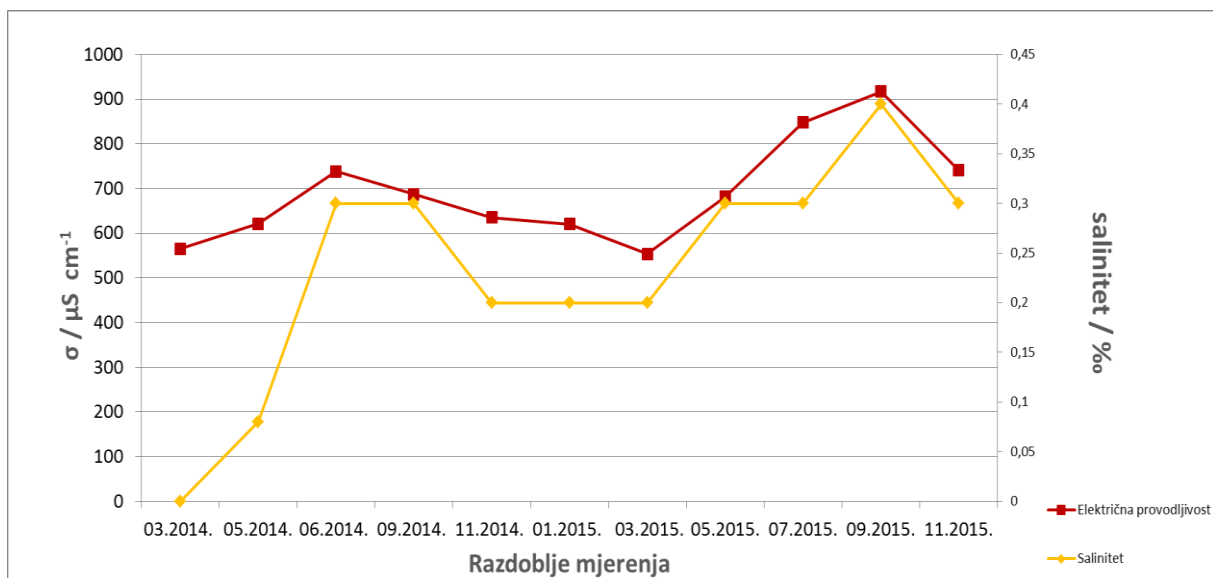
Iako su vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara u razdoblju istraživanja uglavnom stabilne kao bitan čimbenik regulacije na izvoru Prud pokazuje se temperatura vode, koja utječe na vrijednosti ostalih parametara (Tablica 12). Temperatura vode u značajnoj je negativnoj korelaciji s koncentracijom otopljenog kisika ($r=-0,82$; $p=0,002$) i zasićenosti vode kisikom ($r=-0,7224$; $p=0,012$). Porast temperature tijekom ljetnih i ranojesenskih mjeseci rezultira smanjenjem koncentracije otopljenog kisika i zasićenosti vode kisikom (Slika 19). Temperatura vode u pozitivnoj je korelaciji s električnom provodnosti vode ($r=0,67$; $p=0,023$), iako negativno korelira s koncentracijom karbonatnih iona ($r=-0,6038$; $p=0,049$). Značajna pozitivna korelacija električne provodnosti i saliniteta ($r=0,7906$; $p=0,004$) ukazuje na dominantan utjecaj koncentracije kloridnih iona na električnu provodnost vode izvora Prud (Slika 20). Vrijednosti alkaliteta ne pokazuju korelaciju s električnom provodnosti (Slika 21), ali su u značajnoj pozitivnoj korelaciji s KPK vrijednostima ($r=0,65$; $p=0,031$). Brzina strujanja nema značajan utjecaj na ostale vrijednosti.

Tablica 12: Statistički značajne korelacije između fizikalno-kemijskih parametara izvora Prud ($P < 0,05$).

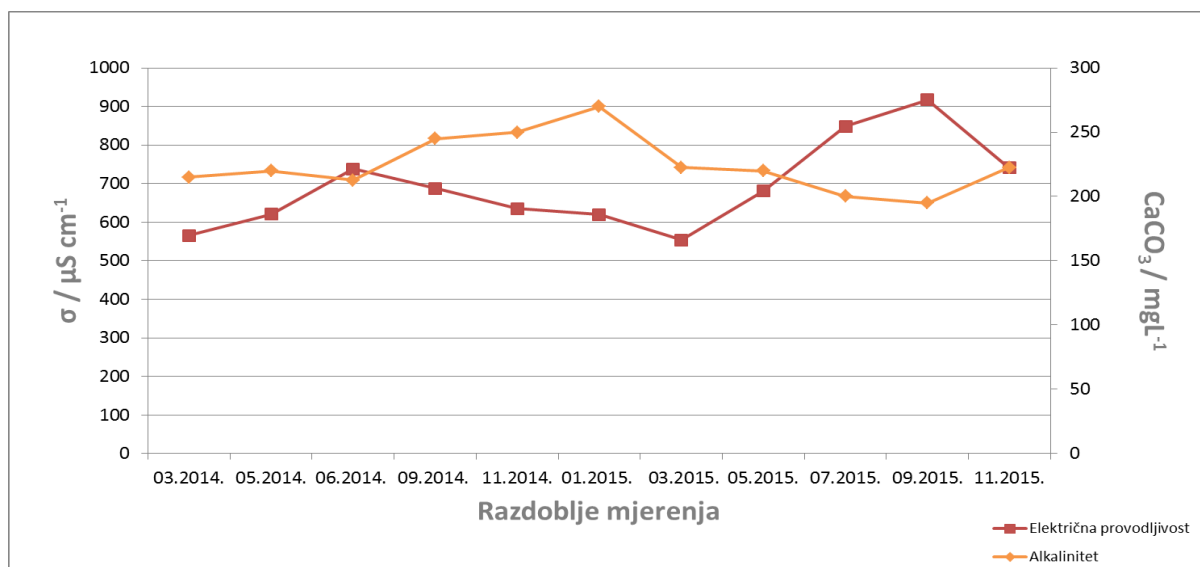
	Temp. / °C	O ₂ / mgL ⁻¹	O ₂ / %	σ / μScm ⁻¹	Salinitet	CaCO ₃ / mgL ⁻¹	KPK / mgL ⁻¹
Temp. / °C			r=-0,7224 p=0,012				
O ₂ / mgL ⁻¹	r=-0,8187 p=,002			r=-0,6716 p=0,024			
O ₂ / %		r=0,9729 p=0,000			r=-0,6343 p=0,036		
σ / μScm ⁻¹	r=0,6750 p=0,023		r=-0,6519 p=0,030				
Salinitet				r=0,7906 p=0,004			
CaCO ₃ / mgL ⁻¹	r=-0,6038 p=0,049						
KPK / mgL ⁻¹						r=0,6483 p=0,031	



Slika 19; Odnos temperature vode (°C) i koncentracije otopljenog kisika (mgL⁻¹) na izvoru Prud u razdoblju istraživanja od ožujka 2014. do studenog 2015. godine.



Slika 20: Odnos električne provodnosti ($\mu\text{S cm}^{-1}$) i saliniteta (‰) na izvoru Prud u razdoblju istraživanja od ožujka 2014. do studenog 2015. godine.



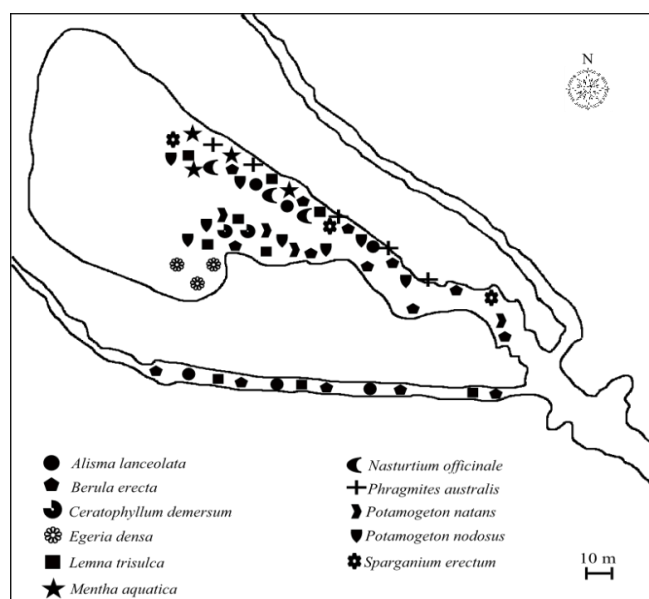
Slika 21: Odnos alkaliteta ($\text{CaCO}_3 / \text{mg L}^{-1}$) i električne provodnosti ($\mu\text{S cm}^{-1}$) na izvoru Prud u razdoblju istraživanja od ožujka 2014. do studenog 2015. godine.

4.2. Vegetacija vodenih makrofita izvora Prud

Na uzorkovanom području uz lijevu i desnu obalnu zonu izvora Prud zabilježene su vrste koje pripadaju različitim tipovima zajednica (Slika 22). Tip zajednica svojstven za tip tekućica kojem pripada izvor Prud (nizinske male i srednje velike tekućice krških polja, HR-R_15A) je *Berula-Nasturtium* tip (BN), *Sparganium emersum* tip (Sp) i *Potamogeton lucens* tip (Po). Zabilježena je rasprostranjenost pojedinih vrsta iz sva tri tipa zajednica. Iz BN tipa zajednice prisutne su vrste uspravni grešun (*Berula erecta*) (Huds.) Coville, ljekovita potočarka (*Nasturtium officinale*) R. Br., 1812 i troskot (*Agrostis stolonifera*) L., 1753 s najvećim stupnjem pokrovnosti zabilježenim u svibnju 2014. godine, kada su u vegetativnoj fazi. Zabilježene vrste koje pripadaju SP tipu zajednica su plivajući mrijesnik (*Potamogeton natans*) L., vodena leća (*Lemna trisulca*) L., 1753 i ježinac (*Sparganium erectum*) L., 1753, a PO tipu zajednice vrsta plutajući mrijesnik (*Potamogeton nodosus*) Poir.. Vegetacija vodenih makrofita je s najgušćim sastojinama na lijevoj strani obale izvora, s najvećom raznolikosti zabilježenom u svibnju 2014. godine. Na desnoj strani dominiraju vrste iz roda *Potamogeton*. Na Slici 23 prikazan je raspored vodene vegetacije na tri transeкта. Broj znakova za pojedinu vrstu predstavlja ujedno i učestalost duž transeкта. Prema ocjenama učestalosti dominiraju uspravni grešun (*B. erecta*) i trska (*Phragmites australis*) (Cavanilles) Trinius ex Steudel s pokrovnosti većom od 50%. Česte su vodena menta (*Mentha aquatica*) L. i vrste mrijesnika (*P. natans* i *P. nodosus*) čija je pokrovnost procijenjena na 25 do 50% (Tablica 13). Na desnom rubu izvora na području bez riparijske vegetacije raširena je invazivna vrsta *Egeria densa* Planch., koja na tom dijelu stvara monokulturu šireći se uz rubove desne obale izvora, gdje nije moguće utvrditi brzinu strujanja vode.



Slika 22: Prikaz istraživanjem utvrđenih vodenih makrofita na izvoru Prud: a) lijeva obala gusto obrasla vodenim makrofitima (20.05. 2014.); b) desna obala izvora sa „zastavama“ submerznih makrofita s dominacijom roda *Potamogeton* (28.06.2014.); c) najčešći nalazi vodenih makrofita s procjenom učestalosti (*Berula erecta*, *Potamogeton nodosus*, *Sparganium erectum*, *Egeria densa*, *Ceratophyllum demersum* i *Lemna trisulca*) (18.09.2014.); d) *Ceratophyllum demersum* – jedna od najmanje učestalih vrsta; e) *Egeria densa* – invazivna vodena biljka, monokultura (27.11.2015.); f) fronta širenja invazivne vrste na lijevoj obali izvora Prud (27.11.2015.) (Foto. S. Gottstein).



Slika 23: Tlocrtna shema izvora Prud s prikazom rasprostranjenosti i učestalosti makrofitske vegetacije na istraživanim transektima duž lijeve i desne obale izvora te bočnog izvorišnog pritoka. Broj znakova pojedine vrste makrofita označava učestalost vrste duž transekta prema Kohleru (1-5).

Tablica 12: Popis vrsta vodenih makrofita s procjenom učestalosti prema Kohleru (1978).

Popis vrsta	20.5.2014.	28.6.2014.	18.9.2014.	Učestalost po Kohleru
<i>Agrostis stolonifera</i>	●			
<i>Alisma lanceolata</i>			●	3
<i>Berula erecta</i>	●		●	5
<i>Carex riparia</i>	●			
<i>Ceratophyllum demersum</i>		●	●	2
<i>Egeria densa</i> *			●	3
<i>Galium elongatum</i>	●			
<i>Lemna trisulca</i>		●	●	3
<i>Mentha aquatica</i>	●			4
<i>Nasturtium officinale</i>	●			3
<i>Phragmites australis</i>	●			5
<i>Potamogeton natans</i>		●		4
<i>Potamogeton nodosus</i>	●		●	4
<i>Sparganium erectum</i>	●			3
za hidrofitu u poplavnoj zoni izvora nisu provedene procjene; * invazivna vrsta				

4.3. Sastav i gustoća zajednice makrozoobentosa izvoru Prud

Tijekom analize sastava i gustoće zajednice makrozoobentosa svi su brojevi jedinki za sve uzorke preračunati na m^2 , kako bi se mogli međusobno uspoređivati sezonski uzorci s različitim brojem poduzoraka, no na prikazima je jasno naznačen i broj poduzoraka, kako bi se i taj aspekt uključio u rezultate.

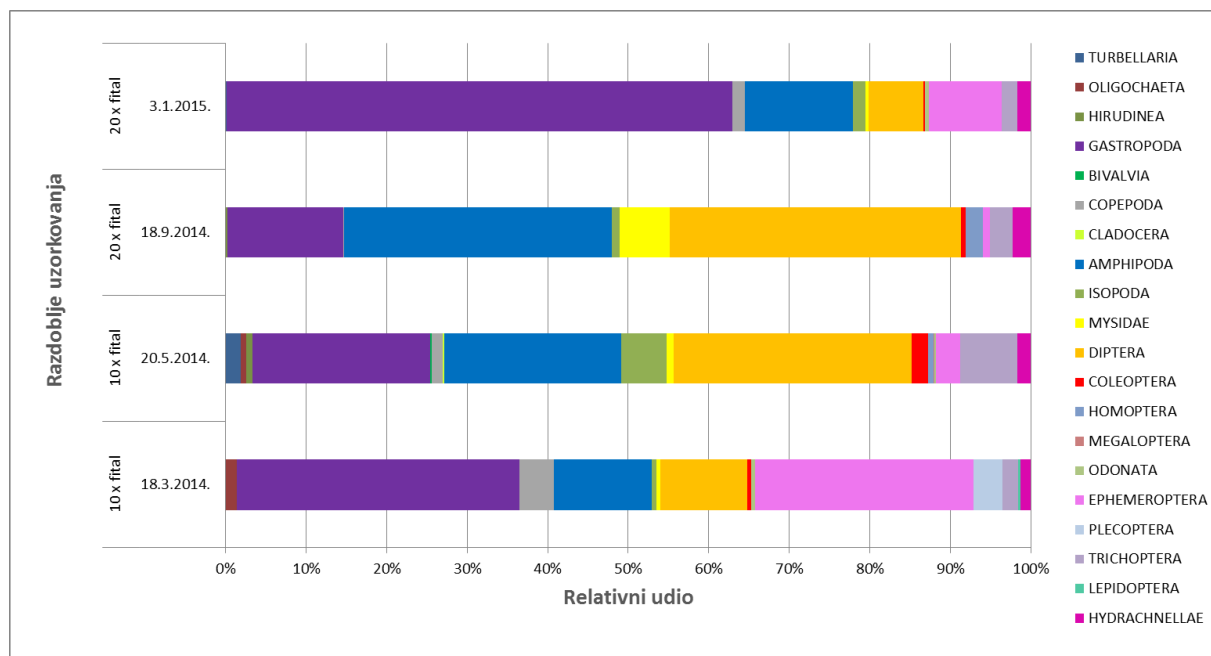
4.3.1. Zastupljenost pojedinih skupina makrozoobentosa

U razdoblju istraživanja na izvoru Prud utvrđeno je 20 skupina makrozoobentosa. Broj skupina najveći je u svibnju 2014. godine, s utvrđenih 18 skupina, a najmanji u siječnju 2015. godine, s utvrđenih 12 skupina.

Relativni udjeli pojedinih skupina razlikuju se unutar sezona (Slika 24). Pripadnici skupine puževa (Gastropoda) (34,16 %) i vodencvjetova (Ephemeroptera) (26,36%) dominantni su u ožujku 2014. godine. Raznolikost skupina najveća je u svibnju 2014. godine, kada opadaju udjeli pojedinih dominantnih skupina. Udio jedinki iz skupine Ephemeroptera značajno opada, a raste udio rakušaca (Amphipoda) (20%) koji je približno jednak udjelu Gastropoda (22,66%). U tom razdoblju dominiraju pripadnici dvokrilaca (Diptera) s najvećim udjelom u zajednici (29,5%). Primjetan je porast u njihovoj brojnosti u toplijem razdoblju godine, a najveći udio zabilježen je u rujnu 2014. godine (Diptera - 36,15%; Amphipoda - 33,24%). U jesenskom razdoblju dolazi do smanjenja njihove brojnosti, a udio skupine Gastropoda se povećava te u siječnju 2015. godine, kada je utvrđen najmanji broj ostalih skupina, čini dominantnu skupinu s 62,8 % relativnog udjela u zajednici. Prisutnost četiri prethodno navedene skupine zabilježena je u svim razdobljima istraživanja, dok su nalazi jedinki školjkaša (Bivalvia), rašljoticalaca (Cladocera), muljara (Megaloptera), leptira (Lepidoptera) i obalčara (Plecoptera) pojedinačni, s minimalnim udjelom u zajednici (Tablica 14, Slika 24).

Tablica 14: Prikaz relativnog udjela (%) dominantnih skupina na izvoru Prud tijekom razdoblja istraživanja (ožujak 2014. – siječanj 2015. godine).

SKUPINE	03.2014	05.2014.	09.2014.	01.2015.
	%	%	%	%
GASTROPODA	34,11	22,66	14,48	62,84
AMPHIPODA	11,44	20	33,24	13,39
DIPTERA	10,55	30,34	36,16	6,80
EPHEMEROPTERA	26,36	3,11	0,87	8,97
OSTALE SKUPINE	17,50	23,91	15,26	8,02



Slika 24: Relativni udio pojedinih skupina na izvoru Prud u razdoblju istraživanja (ožujak 2014. – siječanj 2015. godine).

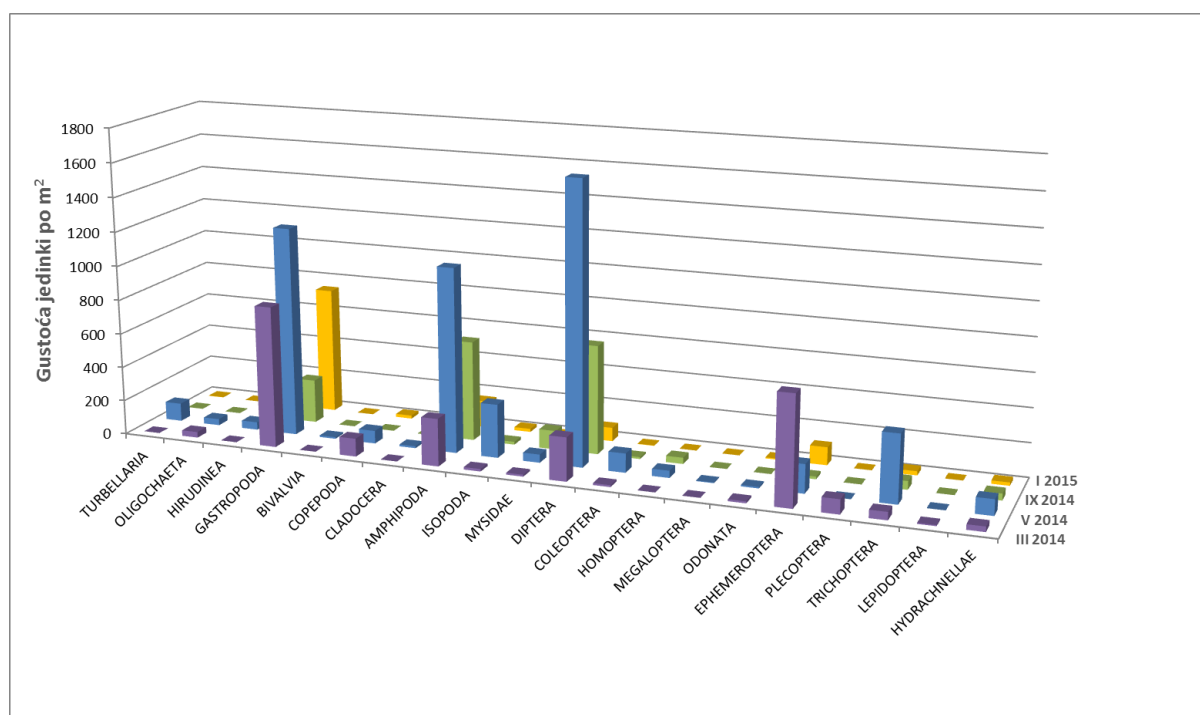
4.3.2. Gustoća jedinki pojedinih skupina makrozoobentosa

U razdoblju istraživanja na izvoru Prud je prikupljeno ukupno 8598 jedinki makroskopskih beskralješnjaka, te je izračunata prosječna gustoća jedinki u iznosu od 10681 jedinki po m² (Tablica 15, Slika 25). Najveća ukupna gustoća jedinki (5395 jedinki po m²) zabilježena je u svibnju 2014. godine, kada je utvrđena i najveća brojnost skupina. Dominantne skupine ujedno imaju najveću gustoću jedinki po m². Gustoća jedinki skupine

Diptera u svibnju 2014. godine iznosi 1637 jedinki po m², što je i najveća utvrđena gustoća u svim razdobljima istraživanja. Nešto manje gustoće jedinki po m² zabilježene su u istom razdoblju za skupine Amphipoda (1078 jedinki po m²) i Gastropoda (1222 jedinki po m²). Skupina Gastropoda je prosječno s najvećim brojem jedinki po m² tijekom cijelog razdoblja istraživanja (760 jedinki po m²). Najmanja ukupna gustoća jedinki (1177 jedinki po m²) zabilježena je u siječnju 2015. godine., kada je i brojnost skupina najmanja. Najveću gustoću u tom razdoblju imaju jedinke skupine Gastropoda (739 jedinki po m²). Najmanja ukupna gustoća jedinki pojedinih skupina tijekom cijelog razdoblja istraživanja utvrđena je za jedinke skupine muljara (Megaloptera) i iznosi 1 jedinku po m².

Tablica 15: Popis utvrđenih skupina makrozoobentosa na izvoru Prud s prikazom gustoće jedinki po m² tijekom razdoblja istraživanja (ožujak 2014. – siječanj 2015. godine).

	10 x fital	10 x fital	20 x fital	20 x fital
SKUPINE	18.3.2014.	20.5.2014.	18.9.2014.	3.1.2015.
TURBELLARIA	0	106	1	2
OLIGOCHAETA	29	31	0	0
HIRUDINEA	72	45	2	0
GASTROPODA	824	1222	254	739
BIVALVIA	0	10	0	0
COPEPODA	106	75	1	18
CLADOCERA	0	11	0	0
AMPHIPODA	276	1078	584	158
ISOPODA	14	312	17	18
MYSIDAE	11	48	110	5
DIPTERA	254	1637	635	80
COLEOPTERA	11	112	11	2
HOMOPTERA	0	42	37	0
MEGALOPTERA	0	3	0	0
ODONATA	11	8	0	6
EPHEMEROPTERA	635	168	15	106
PLECOPTERA	85	0	0	0
TRICHOPTERA	46	395	50	24
LEPIDOPTERA	6	0	0	0
HYDRACHNELLAE	30	93	40	19



Slika 25: Gustoća jedinki po m² pojedinih skupina makrozoobentosa na izvoru Prud u razdoblju od ožujka 2014. do siječnja 2015. godine.

4.3.3. Rezultati kvantitativne analize sastava zajednice makrozoobentosa

4.3.3.1. Sastav zajednice makrozoobentosa izvora Prud tijekom recentnih istraživanja

Četiri sezonska uzorkovanja makrozoobentosa na izvoru Prud provedena su na izvorištu i duž obale izvora uzorkovanjem na dominantnom organskom supstratu raznolike makrofitske vodene vegetacije, koja je razvijena na mineralnom supstratu veličinske frakcije psamopelala (<0,063 mm – 0,2 mm). Prikupljeno je 60 replikativnih poduzoraka (10x2 i 20x2) na temelju kojih je utvrđeno 20 skupina makrozoobentosa, unutar kojih je determinirano 13 porodica, 7 rodova i 25 vrste makrozoobentosa, s tim da pojednine skupine (redovi) nisu determinirane do nižih sistematskih kategorija (Tablica 16). Najveća brojnost svojti zabilježena je u svibnju 2014. godine. Zastupljenost pojedinih svojti mijenja se unutar sezona s izmjenom dominantnosti svojti iz skupina Gastropoda, Amphipoda te vodenih kukaca Diptera i Ephemeroptera (Slika 26). Dominantne skupine prisutne su tijekom svih sezona. Ostale skupine pojavljuju se s relativno malim udjelom u zajednici iako se neke odlikuju većim bogatstvom vrsta, poput Oligochaeta (8) i Hirudinea (7). Skupina Gastropoda

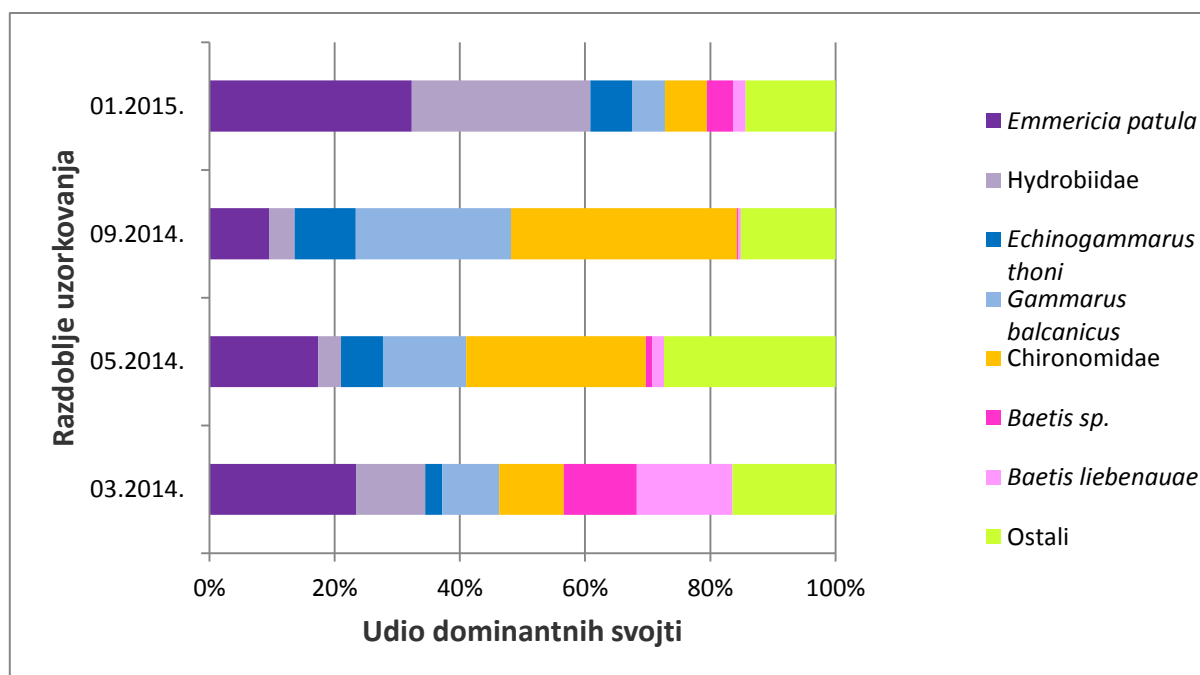
je najzastupljenija u zajednici s prosječnim udjelom od 33,6% i prosječnom gustoćom od 760 jedinki po m². Najveći udio u zajednici zauzima u siječnju 2015. godine (62,84%) kada je udio ostalih skupina znatno manji. Od ukupno 9 zabilježenih svojti unutar skupine s najvećom prosječnom gustoćom jedinki u svim sezonama pojavljuju se jedinke vrste *Emmericia patula* (Brumati, 1838) (509 jedinki po m²) te jedinke iz porodice Hydrobiidae (216 jedinki po m²), koje su s najvećim udjelom jedinki u skupini. Sljedeće skupine po zastupljenosti su skupine Amphipoda i Diptera s najvećom brojnosti jedinki u toplijem razdoblju godine kada se smanjuje udio Gastropoda. Unutar skupine Amphipoda utvrđene su 3 svojte. Jedinke vrsta *Echinogammarus thoni* (Schäferna, 1923) s prosječnom gustoćom od 357 jedinki po m² i *Gammarus balcanicus* Schäferna, 1922 s prosječnom gustoćom od 169 jedinki po m² čine većinski udio u skupini (Slika 26) s obzirom da je za vrstu iz roda *Niphargus* zabilježen jedan nalaz s prosječnom gustoćom od 2 jedinke po m². Najveći doprinos brojnosti skupine Diptera imaju jedinke iz porodice Chironomidae koje čine 97 % udjela u skupini, s prosječnom gustoćom od 627 jedinki po m², a u svibnju 2015. godine pojavljuju se s najvećom zabilježenom gustoćom neke svojte tijekom cijelog istraživanja (1550 jedinki po m²). Unutar skupine Ephemeroptera utvrđeno je 6 svojti od kojih najveći udio zauzimaju jedinke iz porodice Baetide, s porastom brojnosti jedinki iz roda Baetis u proljetnom razdoblju, dok je u ljetnom razdoblju zabilježen značajan pad u brojnosti jedinki.

Tablica 16: Kvalitativni i kvantitativni sastav makrozoobentosa na izvoru Prud u razdoblju istraživanja (ožujak 2014. – siječanj 2015. godine).

	18.3.2014.	20.5.2014.	18.9.2014.	3.1.2015.
Gustoća jedinki po m ²				
TURBELLARIA	0	106	2	2
OLIGOCHAETA				
<i>Aulodrilus pluriset</i>	0	3	0	0
<i>Embocephalus velutinus</i>	26	5	0	0
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	0	2	0	0
<i>Potamotheix</i> sp.	0	5	0	0
<i>Psammoryctides barbatus</i>	2	2	0	0
<i>Eiseniella tetraedra</i>	0	5	0	0
<i>Lumbriculidae</i> g. Sp.	0	10	0	0
<i>Enchytraeidae</i> g.sp.	2	0	0	0
HIRUDINEA				
<i>Glossiphonia complanata</i>	3	24	0	0
<i>Glossiphonia concolor</i>	0	8	0	0
<i>Glossiphonia</i> sp. – juv.	67	0	1	0
<i>Alboglossiphonia hyalina</i>	0	2	0	0
<i>Erpobdella octoculata</i>	2	0	0	0

REZULTATI

<i>Erpobdella</i> sp.- juv.	0	11	1	0
<i>Hemiclapsis marginata</i>	0	0	1	0
GASTROPODA				
<i>Acroloxus lacustris</i>	6	0	0	0
<i>Ancylus fluviatilis</i>	0	5	1	0
<i>Bithynia tentaculata</i>	0	24	9	0
<i>Emmericia patula</i>	549	938	167	380
<i>Gyraulus albus</i>	5	22	6	22
<i>Planorbis carinatus</i>	3	3	0	2
<i>Stagnicola fuscus</i>	0	3	0	0
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	2	19	1	0
Hydrobiidae	259	198	71	336
BIVALVIA				
<i>Pisidium</i> sp.	0	10	0	0
COPEPODA	106	75	1	18
CLADOCERA	0	11	0	0
AMPHIPODA				
<i>Echinogammarus thoni</i>	64	360	172	78
<i>Gammarus balcanicus</i>	213	718	436	61
<i>Niphargus</i> sp.	2	0	0	0
ISOPODA				
<i>Asellus aquaticus</i>	14	312	17	18
Mysidae				
<i>Diamysis mesohalobia gracilipes</i>	11	48	109	5
DIPTERA				
Ceratopogonidae	2	14	1	0
Chironomidae	243	1550	634	79
Dixidae	8	56	0	1
Empididae	0	6	0	0
Limoniidae	2	0	0	0
Muscidae	0	5	0	0
Sciomyzidae	0	2	0	0
Stratiomyidae	0	3	0	0
COLEOPTERA	11	112	11	2
HOMOPTERA	0	42	37	0
MEGALOPTERA	0	3	0	0
EPHEMEROPTERA				
Baetidae	0	0	5	31
<i>Baetis</i> sp.	274	56	2	50
<i>Baetis liebenauae</i>	358	100	8	23
<i>Cloeon dipterum</i>	0	0	0	2
<i>Caenis</i> sp.	3	2	0	0
<i>Caenis rivulorum</i>	0	10	0	0
ODONATA	11	8	0	6
PLECOPTERA	85	0	0	0
TRICHOPTERA	46	395	50	24
LEPIDOPTERA				
Pyrilidae	6	0	0	0
HYDRACHNELLAE	30	93	40	19

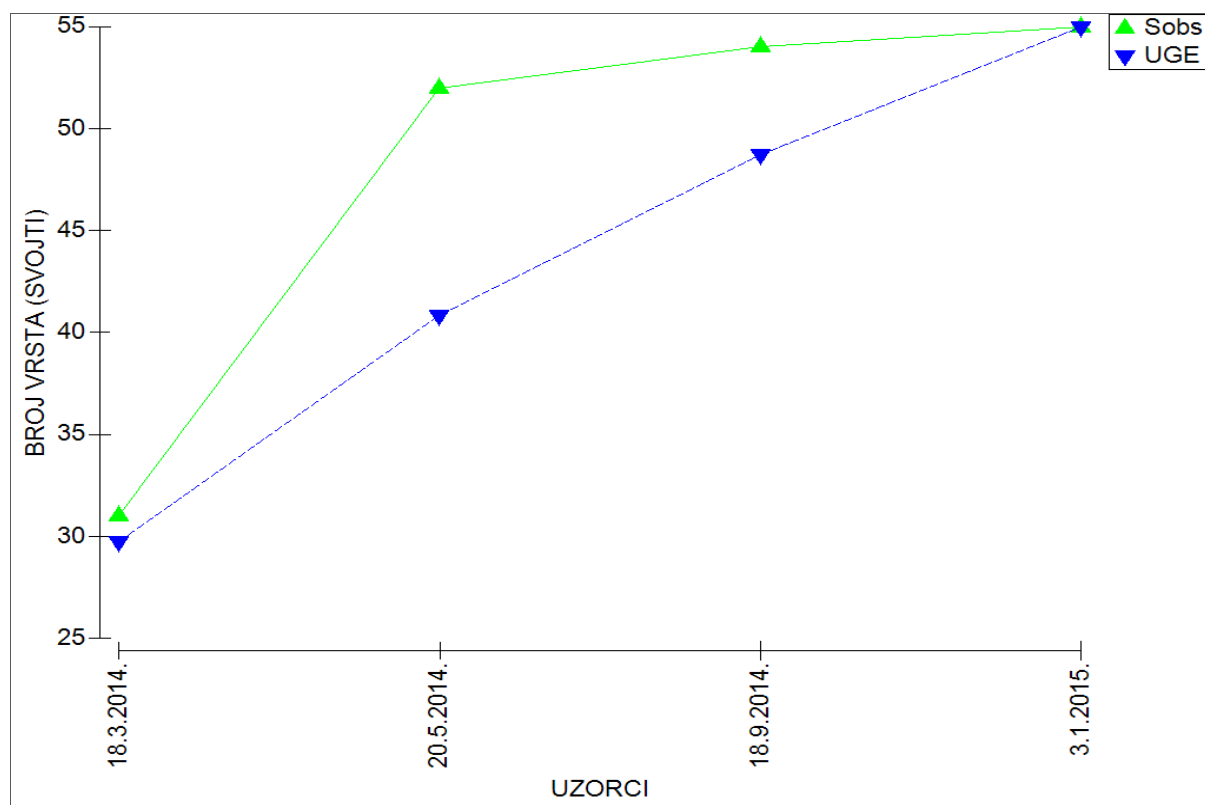


Slika 26: Udio dominantnih svojti pojedinih skupina na izvoru Prud u razdoblju istraživanja (ožujak 2014. – siječanj 2015. godine).

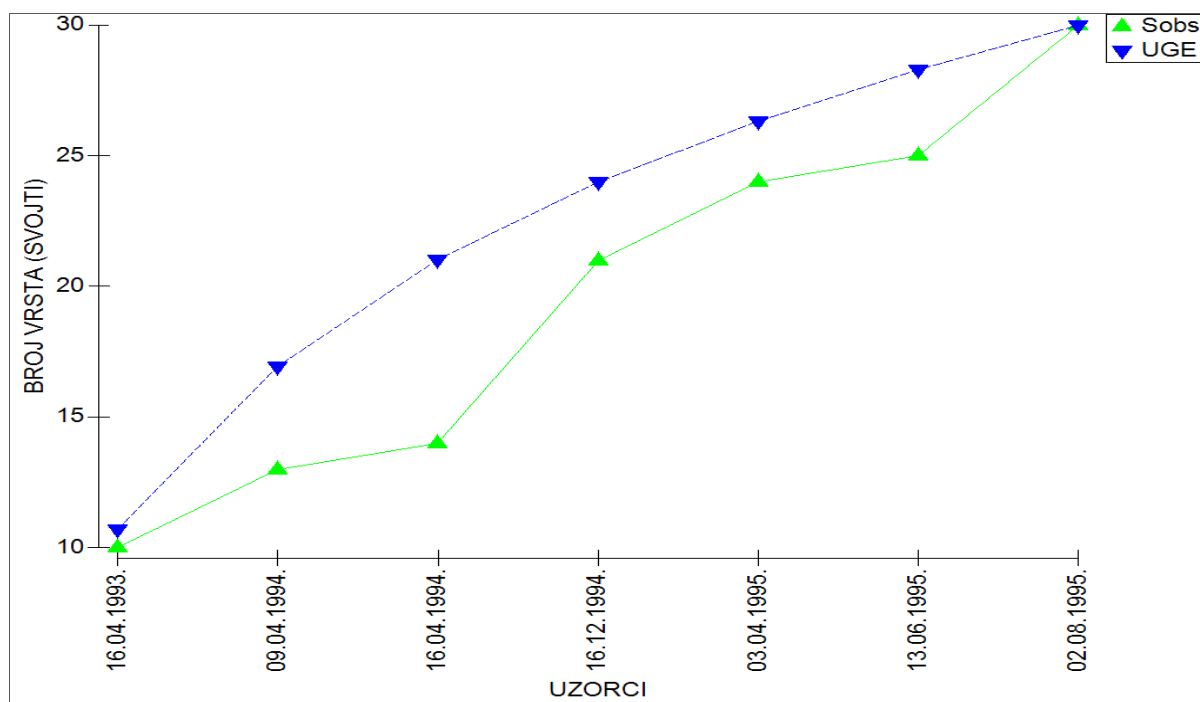


Slika 30: Dominantni rakušci (Amphipoda) na izvoru Prud: Et – *Echinogammarus thoni*; Gb – *Gammarus balcanicus* (foto. S. Gottstein).

Tijekom provedenog razdoblja istraživanja značajan porast u broju svojti zabilježen je u svibnju 2014. godine. Daljnjim uzorkovanjem brojnost svojti ne povećava se mnogo. Međutim usporednom analizom prethodnih istraživanja na izvoru Prud u razdoblju od travnja 1993. do kolovoza 1995. godine uočen je porast broja svojti sa svakim uzorkovanjem. Standardizacijom uzoraka zbog značajnih razlika u metodologiji ova dva istraživanja provedena je usporedba sastava zajednica makrozoobentosa. Upotrebom neparametrijskih testova te prikazom krivuljama akumulacije i rarefakcije, uzimajući u obzir uzmu rijetke vrste koje se pojavljuju u uzorcima na izvoru Prud, za trenutno stanje procijenjena je prisutnost od ukupno 55 svojti, dok je za prethodno istraživanje procijenjena prisutnost od 30 svojti (Slika 27; Slika 28).



Slika 27: Akumulacijska (S_{obs}) i rarefakcijska (UGE) krivulja povećanja broja svojti u uzorcima u razdoblju istraživanja od ožujka 2014. do siječnja 2015.



Slika 28: Akumulacijska (S_{obs}) i rarefakcijska krivulja (UGE) broja svojti na izvoru Prud u razdoblju istraživanja od travnja 1993. do kolovoza 1995. godine.

4.3.3.2. Pokazatelji raznolikosti zajednice makrozoobentosa

Na temelju prikupljenih uzoraka makrozoobentosa na izvoru Prud dobiveni su i podaci o brojnosti i zastupljenosti pojedinih svojti, na temelju čega su izračunate vrijednosti indeksa raznolikosti. Srednja vrijednost brojnosti svojti na izvoru Prud tijekom četiri sezone uzorkovanja i 60 prikupljenih poduzoraka iznosila je 30. Srednja vrijednost Pielouvog indeksa ujednačenosti (J') iznosi 0,65, srednja vrijednost Shannon-Weinerovog indeksa raznolikosti (H') iznosi 2,18, a srednja vrijednost Simpsonov indeks raznolikosti (λ) iznosi 0,17.

Najveće bogatstvo svojti (44) ujedno i najveća brojnost jedinki zabilježena je u svibnju 2014. godine, dok je najmanje bogatstvo svojti s najmanjom brojnošću jedinki zabilježeno u siječnju 2015. godine. Najveće vrijednosti Pielouvog indeksa ujednačenosti (0,70) i S-W indeksa raznolikosti (2,39) zabilježene su u ožujku 2014. godine, dok je iznos Simpsonova indeksa raznolikosti u tom razdoblju najmanji (0,12).

U svibnju 2014. godine utvrđen je postupni pad vrijednosti indeksa ujednačenosti (0,63) i S-W indeksa raznolikosti (2,39) te povećanje Simpsonovog indeksa raznolikosti (0,15).

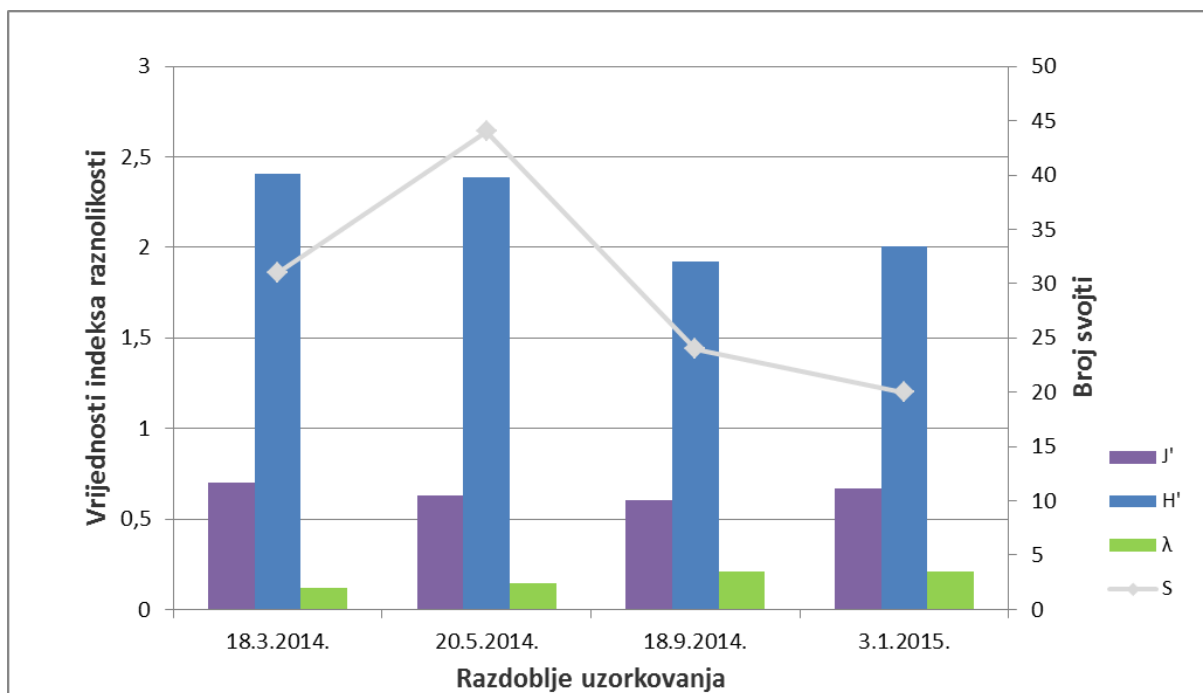
Indeks ujednačenosti i S-W indeks raznolikosti najmanji je u rujnu 2014. godine, kada je i najveći Simpsonov indeks raznolikosti, prema čemu je utvrđena najmanja raznolikost zajednice u tom razdoblju.

U siječnju 2015. godine vrijednosti indeksa raznolikosti približno su jednake onima u rujnu 2014. godine s nešto manjim iznosom S-W indeksa raznolikosti. Skupina Gastropoda dominira s 62,84% udjela u zajednici te je utvrđeno najmanje bogatstvo svojti. Unatoč tome zastupljenost prisutnih svojti prema iznosu Pielouva indeksa (0,67), koji je najbliži onom u ožujku 2014. godine, ujednačenija je od one u svibnju, kada je bogatstvo svojti najveće.

Podaci o vrijednostima pojedinih indeksa prikazani su u Tablici 17, a promjene unutar sezona vidljive su na Slici 29, iz koje se prema dobivenim vrijednostima uočava relativna neujednačenost u zastupljenosti svojti na izvoru Prud tijekom sezona, bez obzira na bogatstvo utvrđenih svojti.

Tablica 17: Vrijednosti indeksa raznolikosti na izvoru Prud u razdoblju od ožujka 2014. do siječnja 2015. godine.

	Broj svojti	Broj jedinki	Pielouov indeks	S-W indeks	Simpsonov indeks
	S	N	J'	H'	Λ
18.03.2014.	31	2414	0,70	2,41	0,12
20.05.2014.	44	5386	0,63	2,39	0,15
18.09.2014.	24	1781	0,61	1,92	0,21
03.01.2015.	20	1159	0,67	2	0,21
SV	30	2685	0,65	2,18	0,17



Slika 29: Sezonske promjene vrijednosti analiziranih indeksa raznolikosti i ukupnog broja svojti na izvoru Prud tijekom recentnih istraživanja: S – broj svojti, J'- Pielouv indeks ujednačenosti, H' – Shannon-Wienerov indeks raznolikosti, λ – Simsonov indeks raznolikosti.

4.4. Ocjena ekološkog stanja temeljem analize makrozoobentosa – usporedba recentnih i prethodnih istraživanja na izvoru Prud

4.4.1. Ocjena ekološkog stanja temeljem analize saprobnosti

Za određivanje modula saprobnosti, odnosno razine opterećenja izvora Prud organskim tvarima izračunate su prosječne vrijednosti za ukupan broj svojti (UBS), BMWP bodovni indeks, prošireni biotički indeks (PBI) te hrvatski saprobni indeks (SI_{HR}) prema 4 uzorkovanja na izvoru Prud. Prosječna vrijednost UBS iznosi 30, BMWP iznosi 41,25, PBI iznosi 7,5, a SI_{HR} iznosi 1,82. Dobivene vrijednosti su normalizirane prema formuli za izračunavanje omjera ekološke kakvoće (OEK) za svaki pojedini indeks te su njihove vrijednosti u rasponu od 0,3 do 0,89. Prema prosječnoj vrijednosti indeksa za nizinske male i srednje velike tekućice krških polja (HR-R_15A), kojem pripada izvor Prud, omjer ekološke kakvoće (OEK) za modul saprobnosti iznosi 0,59, prema čemu izvor Prud pripada III klasi voda (Tablica 18).

Tablica 18: Prosječne vrijednosti (SV) i omjeri ekološke kakvoće (OEK) pojedinih indeksa za module saprobnosti na izvoru Prud za recentno razdoblje istraživanja (ožujak 2014. – siječanj 2015. godine).

Indeksi saprobnosti	UBS	BMWP	PBI	SI _{HR}	Modul saprobnosti
SV	30	41,25	7,5	1,82	
OEK	0,61	0,3	0,6	0,85	0,59

4.4.2. Ocjena ekološkog stanja temeljem analize opće degradacije

Za određivanje modula opće degradacije, odnosno ukupnih antropogenih promjena korištene su prosječne vrijednosti Shannon-Wienerovog indeksa raznolikosti (H), broj svojti Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT-S), udio Oligochaeta u makrozoobentosu (OLI %) te broj porodica (BP) na temelju četiri uzorka. Omjere ekološke kakvoće (OEK) bilo je moguće izračunati samo za H i EPT-S indekse. Prosječna vrijednost H indeksa iznosi 2,18, a EPT-S iznosi 5. OEK_H iznosi 0,73, a OEK_{EPT-S} iznosi 0,25 (Tablica 19).

Tablica 19: Prosječne vrijednosti (SV) i omjer ekološke kakvoće (OEK) pojedinih indeksa za izračunavanje modula opće degradacije na izvoru Prud za recentno razdoblje istraživanja (ožujak 2014. – siječanj 2015. godine).

Indeksi opće degradacije	H'	EPT-S	OLI%	BP
SV	2.18	5	0,49	23
OEK	0,73	0,25	/	/

4.4.3. Analiza prethodnih istraživanja

Prema prikupljenim podacima istraživanja izvora Prud u razdoblju od travnja 1993. do kolovoza 1995. godine napravljene su analize u kojima su izračunati indeksi potrebni za određivanje modula saprobnosti izvora Prud u tom razdoblju. Prosječna vrijednost na temelju 7 uzorkovanja makrozoobentosa na izvoru Prud za ukupan broj svojti (UBS) iznosi 11, vrijednost BMWP bodovnog indeksa iznosi 9 te vrijednost proširenog biotičkog indeksa (PBI) 9. Vrijednost SI_{HR} saprobnog indeksa iznosi 1,72. Izračunate su vrijednosti omjera ekološke kakvoće pojedinih indeksa (OEK), koje su u rasponu od 0,05 do 0,82. Prema prosječnoj vrijednosti ovih indeksa omjer ekološke kakvoće za modul saprobnosti iznosi 1,21, prema čemu je izvor Prud u tom razdoblju pripadao IV klasi voda. U Tablici 20 su prikazane vrijednosti pojedinih indeksa.

Tablica 20: Prosječne vrijednosti (SV) i omjeri ekološke kakvoće (OEK) pojedinih indeksa za modul saprobnosti na izvoru Prud za prethodno razdoblje istraživanja (travanj 1993. – kolovoz 1995. godine).

Indeksi saprobnosti	UBS	BMWP	PBI	SIHR	Modul saprobnosti
SV	11	9	9	1,72	
OEK	0,22	0,05	0,72	0,89	1,21

5. RASPRAVA

Razlike u fizikalno-kemijskim obilježjima vode na izvoru Prud

U svrhu preciznog utvrđivanja okolišnih uvjeta na izvoru Prud, vrijednosti osnovnih fizikalno-kemijskih parametara mjerene su u dužem vremenskom razdoblju od uzorkovanja makrozoobentosa. Budući da fizikalno-kemijski čimbenici vode bitno utječu na strukturu i prostorni raspored zajednica makrozoobentosa te su ujedno pokazatelj kvalitete vode (Erman, 2002; Galas, 2005) u okviru ovog istraživanja osim osnovnih fizikalno-kemijskih čimbenika vode izmjereni su i dodatni parametri ključni za procjenu kvalitete vode kao što je KPK vode te parametri koji značajno utječu na sastav zajednica makrozoobentosa, kao što je brzina strujanja vode.

Hidrološke značajke i kemizam vode odraz su geološke strukture i obilježja slivnog područja (Cantonati i sur., 2006; Štambuk-Giljanović, 2003), što je potvrđeno analizom fizikalno-kemijskih parametara na izvoru Prud. Naime, slivno područje izvora Prud nalazi se u krškom području s pretežito karbonatnim stijenama, a sam izvor u nizinskoj erozivnoj bazi na području delte Neretve, okružen sedimentima pijeska i muljevite gline (Štambuk-Giljanović, 2003), zbog čega se određena obilježja izvorske vode mogu mijenjati (van der Kamp, 1995 cit. iz Scarsbrook i sur., 2007). Izvor je limnokrenog tipa te zbog velike izdašnosti s malim oscilacijama (Slišковиć, 2014) spada u stalne izvore s obilježjem stabilnosti abiotičkih čimbenika tijekom čitave godine što je rezultat velikog kapaciteta vodonosnika i geomorfološke strukture širokog slivnog područja u kompleksnom sustavu krških stijena (Glazier, 2009). Budući da se nalazi na krajnjoj bazi slivnog područja složena podzemna hidrološka mreža uvjetuje pritjecanje velike količine vode iz hercegovačkog zaleđa te područja dalmatinske zagore što ga čini jednim od najvećih izvora na prostoru delte Neretve. Ovim istraživanjem u razdoblju od ožujka 2014. do studenog 2015. godine utvrđena je relativna ujednačenost u vrijednostima fizikalno-kemijskih parametara.

Stabilnost protoka vode ključan je čimbenik koji utječe na ostala fizikalno-kemijska obilježja vode te određuje strukturu zajednica na izvoru (Wood i sur., 2005), zbog čega je mjerenje protoka vode vrlo važno. O brzini strujanja vode ovisi količina transportiranog sedimenta i nutrijenata (Meals i Dressing, 2008), što utječe na prostorni raspored veličinskih frakcija sedimenta u izvorima, a time i na sastav i prostorni raspored zajednica makrozoobentosa

(Wood i sur., 2001). Također se ne smije zanemariti ni utjecaj onečišćujućih tvari, čija količina ovisi o brzini i količini vode koja dotječe sa slivnog područja. Prema podacima o brzini strujanja, s obzirom na površinu slivnog područja, mogu se utvrditi promjene u izdašnosti izvora, što je u slučaju izvora Prud važno zbog većeg broja čimbenika. Naime, izmijenjeni hidrološki uvjeti na izvorima u donjoj Neretvi zbog izgradnje brojnih hidroenergetskih objekata u gornjem slivnom području utječu na njihova ekološka obilježja (URL 3), a u slučaju izvora Prud i na njegovu socio-ekonomsku važnost, budući da predstavlja okosnicu regionalnog vodopskrbnog sustava. Međutim za procjene tih promjena potrebna su višeslojna multidisciplinarna istraživanja, uzimajući u obzir utjecaj različitih okolišnih čimbenika, a recentna istraživanja u okviru ovog diplomskog rada mogu poslužiti kao ključan izvor podataka i smjernice za daljnja istraživanja.

Ovim istraživanjem izmjerene su minimalna, maksimalna i prosječna brzina strujanja vode, u područjima izvora koji su različito izloženi struji vode. Utvrđeno je da se njihove vrijednosti na izvoru Prud ne razlikuju mnogo, a manje sezonske razlike posljedica su promjena u protoku tj. rezultat su povišenja vodostaja na izvoru. Porast brzine strujanja vode zabilježen je u ranoljetnom i zimskom razdoblju 2014. godine, s maksimalnom vrijednosti u siječnju 2015. godine (0,82 m/s), kada je razina vode na mjernoj letvi bila najviša. Manje vrijednosti zabilježene su tijekom 2015. godine. Najveća razina vode u razdoblju maksimalnog protoka ukazuje na pojačano otjecanje podzemne vode sa slivnog područja, što je posljedica povećane količine oborina tijekom 2014. godine, dok su manje vrijednosti u 2015. godine posljedica duljeg sušnog razdoblja. Sezonske promjene u brzini strujanja očituju se i u vrijednostima ostalih fizikalno-kemijskih parametara, posebno u koncentraciji otopljenih iona (Allan i Castillo, 2007), što je također potvrđeno i tijekom ovih istraživanja.

Osim protoka, ključan čimbenik je i temperatura vode. Temperatura vode na izvorima povezana je s prosječnom temperaturom zraka okolnog područja, odnosno temperatura podzemne vode jednaka je srednjoj godišnjoj temperaturi zraka okolnog područja, što je specifično obilježje stabilnih izvora (Giller i Malmquist, 1998; Williams i Williams, 1998). Vrijednosti temperature vode uglavnom su ujednačene tijekom godine (van der Kamp, 1995 cit. iz Scarsbrook i sur., 2007). Na izvoru Prud razlika tijekom sezona iznosila je 1,7 °C, što odgovara maksimalno zabilježenim rasponima temperature u iznosu od 2°C unutar zone eukrenala (Reiss i Chiffard, 2015), a zabilježene vrijednosti tijekom svih sezona odgovaraju srednjoj godišnjoj temperaturi tog područja (15,5 °C) (Slišković, 2014). Režim kisika izravno je povezan s temperaturom (Ćuk i sur., 2011). Značajna negativna korelacija temperature

vode i koncentracije otopljenog kisika ($r=-0,82$; $p=0,002$) pokazuje kako porast temperature u toplijem razdoblju godine dovodi do smanjenja koncentracije otopljenog kisika. Otopljeni kisik važan je za metabolizam svih vodenih organizama, a smanjenje njegove koncentracije dovodi do pojave anaerobnih uvjeta (Štambuk-Giljanović, 1999 cit. iz Ćuk i sur., 2014). Na izvoru Prud zabilježene su male sezonske razlike u koncentraciji otopljenog kisika ($1,68 \text{ mgL}^{-1}$). Vrijednosti zasićenosti vode kisikom u suglasju su s koncentracijom otopljenog kisika, s malim oscilacijama i pojavom minimalnih (72,9%) i maksimalnih (75%) vrijednosti u istom razdoblju te pokazuju značajnu negativnu korelaciju s temperaturom vode ($r=-0,7224$; $p=0,012$). Vrijednosti ova dva parametra općenito su niske na što mogu utjecati i drugi čimbenici, poput otopljene organske tvari (Gottstein i sur., 2009). S obzirom na položaj izvora Prud u području brojnih poljoprivrednih površina te slivnog područja na prostoru intenzivne poljoprivrede u Vrgoračkom polju, za očekivati je kako će brojne organske tvari antropogenog podrijetla utjecati na režim kisika, ali i na ostale kemijske vrijednosti vode (Štambuk-Giljanović, 2003). Ovim istraživanjem nisu mjerene koncentracije pojedinih onečišćujućih tvari koje bi mogle ukazivati na takve uvjete, iako zabilježene vrijednosti KPK ne pokazuju značajne korelacije sa zasićenosti i koncentracijom otopljenog kisika u vodi. Ipak njihove su vrijednosti najniže u ranojesenskom razdoblju, kada je zabilježeno povećanje vrijednosti otopljene organske tvari. Međutim, vrijednosti saliniteta u značajnoj su negativnoj korelaciji sa zasićenosti vode kisikom ($r=-0,6343$, $p=0,036$). Do porasta u salinitetu dolazi u ljetnom razdoblju, prodorom morskog klina u deltu Neretve (Ljubenković i Vranješ, 2012), kada istovremeno raste i temperatura vode na izvoru. Prema tome na pad zasićenosti vode kisikom u tom razdoblju osim temperature utječe i koncentracija kloridnih iona (Allan i Castillo, 2007). Budući da se radi o razdoblju intenzivne fotosinteze vodenih makrofita, koja utječe na zasićenost vode kisikom (Ćuk i sur., 2011) može se pretpostaviti negativni utjecaj saliniteta na metaboličke procese vodenog bilja što neposredno utječe i na zasićenost vode kisikom, međutim potrebno je provesti detaljnije analize za potvrdu tog navoda. Specifičan međuodnos utvrđen je i s vrijednostima električne provodnosti. Utvrđena je značajna pozitivna korelacija sa salinitetom ($r=0,7906$; $p=,004$) i temperaturom ($r=0,6750$, $p=0,023$), a negativna sa zasićenosti vode kisikom ($r=-0,6519$, $p=0,030$). Temperatura je direktno povezana s električnom provodnosti (Gottstein i sur., 2009). Vrijednosti električne provodnosti najveće su u ljetnom razdoblju, s maksimalnom vrijednosti zabilježenom u rujnu 2015. godine ($917 \mu\text{S cm}^{-1}$). Porast temperature utječe na ionsku pokretljivost, čime salinitet postaje važan čimbenik (Allan i Castillo, 2007). Sudeći prema ovim relativno visokim vrijednostima električne provodnosti vode, veliki utjecaj mogu imati i okolna poljoprivredna

zemljišta s kojih se ispiru umjetna gnojiva, smanjena brzina protoka u ljetnom razdoblju te pojačana evapotranspiracija. Električnu provodnost većinom određuje koncentracija karbonatnih i bikarbonatnih iona, iako prema rezultatima analiza na izvoru Prud dominantnu ulogu ima salinitet (Štambuk-Giljanović, 1998). Vrijednosti alkaliteta približno su jednake unutar sezona, što je odraz konstantnog protoka vode zasićene ionima otopljenih karbonatnih stijena koje zauzimaju najveći udio u geološkom sastavu slivnog područja. Promjene u koncentraciji iona nisu značajne, međutim uočena je ujednačenost s promjenama sezonskih vrijednosti brzine strujanja. Također, utvrđena je značajna pozitivna korelacija alkaliteta s vrijednostima KPK ($r=0,6483$, $p=0,031$). Vrijednosti KPK su relativno niske, što ukazuje da nema većeg organskog opterećenja. Blagi porast u jesenskom i zimskom razdoblju 2014. odgovara završetku vegetacijske sezone i povećanom ispiranju organske tvari uz rub izvora, što ukazuje na utjecaj pojačanog protoka vode u tom razdoblju. Male sezonske razlike zabilježene su i kod pH vrijednosti vode (0,64). Srednja vrijednost iznosi 7,31, te je voda neutralnog do blago bazičnog karaktera, što je prvenstveno rezultat geološke podloge, budući da analize ne pokazuju značajan utjecaj drugih parametara na pH vrijednost vode. Prema tome može se reći da je voda s vrlo visokim puferskim kapacitetom, što je vrlo važno za život organizama (Allan i Castillo, 2007). Izvor Prud, kao i sve podzemne vode desnog zaobalja Neretve, spada u kalcijско-hidrogenkarbonatno sulfatne vode, od kojih se razlikuje povećanom koncentracijom kloridnih iona uslijed utjecaja mora, što je zabilježeno i u samoj rijeci Neretvi (Biondić, 2009). To je utvrđeno i ovim istraživanjem, na temelju kojeg je vidljiv dominantan utjecaj saliniteta i na ostale fizikalno-kemijske čimbenike.

Sličnost fizikalno-kemijskih obilježja izvora Prud s obilježjima drugih voda slivnog područja posljedica je geomorfologije i hidroloških procesa karakterističnih za krš, zbog čega ga možemo promatrati u sklopu jednog složenog sustava, uzimajući u obzir vode s kojima je povezan (Bonacci, 1987). U ovom radu korišteni su podaci istraživanja provedenih u razdoblju od 1997. – 2000. godine, koja se odnose na kvalitetu vode na području Vrgoračkog polja i područja njegovog sliva (Štambuk-Giljanović, 2003). Vode Vrgoračkog polja podzemnim tokovima povezane su s vodama na nižim razinama u Neretvi, uključujući izvor Prud, čime direktno utječu na njegova svojstva. Kako bi se utvrdila razina utjecaja i kvaliteta vode u sklopu istraživanja Štambuk-Giljanović (2003) mjerenja su provedena i na izvoru Prud. Kako mjereni parametri u okviru istraživanja Štambuk-Giljanović (2003) ne obuhvaćaju sve vrijednosti koje su mjerene ovim istraživanjem, usporedba je provedena na 5 osnovnih parametara (temperatura vode ($^{\circ}\text{C}$), pH, alkalitet ($\text{CaCO}_3 \text{ mg L}^{-1}$), koncentracija otopljenog

kisika (mg L^{-1}) i zasićenost vode kisikom (%)). Umjesto električne provodnosti u tom istraživanju mjerena je mineralizacija vode (mg L^{-1}) prema vrijednostima kemijskih parametara vode, odnosno prema omjeru isparnog ostatka.

Usporedbom srednjih godišnjih vrijednosti ispitivanih fizikalno-kemijskih parametara nisu uočene značajne razlike u temperaturi vode ($^{\circ}\text{C}$), pH vrijednosti i alkalitetu vode ($\text{CaCO}_3 \text{ mg L}^{-1}$), što se može očekivati s obzirom na dominantan utjecaj geomorfoloških obilježja područja. Usporedbom koncentracija otopljenog kisika (mg L^{-1}) i zasićenosti vode kisikom (%) utvrđene su veće vrijednosti u mjerenjima provedenim u okviru istraživanja Štambuk-Giljanović (2003) (Tablica 21). Ovakvi rezultati mogu ukazivati na promjene koje su se u međuvremenu dogodile, no mogu biti i posljedica raznih okolišnih čimbenika, ovisno o razdoblju kada su mjerenja provedena. Kako bi se sa sigurnošću moglo tvrditi je li došlo do promjena, potrebno je kontinuirano praćenje različitih parametara o kojima ovisi kvaliteta vode.

Tablica 21: Usporedba srednjih vrijednosti osnovnih fizikalno-kemijskih parametara na izvoru Prud zabilježenih u razdoblju 1997. - 2000. godine (Štambuk-Giljanović, 2003) s vrijednostima zabilježenim u ovom radu u razdoblju od 2014. – 2015. godine.

	1997.	1998.	1999.	2000.	2014.-2015.
T vode / $^{\circ}\text{C}$	13,1	13,6	13,6	12,6	13,5
pH	7,32	7,21	7,27	7,86	7,31
O_2 / mg L^{-1}	8,8	9,5	9,6	9,4	7,92
O_2 / %	84	89	87	89	76,27
Alkalitet / $\text{CaCO}_3 \text{ mgL}^{-1}$	210	224	192	205	224,77

Usporedba sastava i gustoće makrozoobentosa izvora Prud

Sastav i struktura zajednica makrozoobentosa na izvoru Prud odraz je njegovih hidrogeoloških obilježja i kemijskog sastava vode. Budući da je sastav zajednice makrozoobentosa čvrsto povezan s abiotičkim čimbenicima (Smith i sur., 2003) ključan faktor koji određuje faunistički sastav na izvoru Prud je stabilnost fizikalno-kemijskih obilježja, posebno temperature i strujanja vode, što je potvrđeno ovim istraživanjem. Jednogodišnjim istraživanjem zajednica makrozoobentosa na izvoru Prud utvrđeno je 20 skupina (redova) makrozoobentosa unutar kojih je 13 svojiti determinirano do razine porodice, 7 do razine roda, 25 do razine vrste, dok ih je 7 ostalo određeno do razine reda. Analiza sastava i gustoće prikupljenih jedinki pokazuje relativnu neujednačenost vrsta, s dominacijom vrsta iz skupine puževa (Gastropoda), dvokrilaca (Diptera) i rakušaca (Amphipoda) tijekom svih sezona istraživanja. Predstavници skupine vodencvjetova (Ephemeroptera), prisutni su u svim sezonama, međutim s vrlo malom gustoćom jedinki, izuzev u ožujku 2014. godine prije početka emergencijske sezone pojedinih vrsta. Sezona emergencije vodenih kukaca utječe na sastav i strukturu cjelokupne zajednice kopnenih voda, međutim na izvoru Prud osim skupine Diptera nije zabilježena značajna gustoća drugih skupina kukaca koji emergiraju, zbog čega je sezonska promjena sastava zajednice minimalna. Također, zastupljenost drugih skupina koje ne emergiraju značajno je manja. Dominacija Gastropoda i Amphipoda karakteristična je za mnoge stalne krške izvore (Rađa i Puljas, 2010). Mnoga istraživanja ukazuju na čvrstu vezu abiotičkih čimbenika na krškim izvorima s rasprostranjenosti ovih skupina (Scarsbrook i sur., 2007). Stabilni uvjeti stalnih krških izvora velike izdašnosti s malim oscilacijama temperature i protoka vode pogoduju godišnjem razvoju ovih organizama s obzirom na njihovu nemogućnost širokog rasprostiranja, dok im visoka koncentracija karbonatnih iona omogućava strukturalnu izgradnju (Glazier, 2009; Thorp i Chovich, 1991). Najzastupljenije vrste na izvoru Prud s najvećom prosječnom gustoćom jedinki unutar sezona su predstavnici skupine Gastropoda (760 jedinki po m²). Najveći udio u skupini ima zaštićena endemska vrsta *Emmericia patula*, te vrste iz porodice Hydrobiidae, koji su tipični predstavnici izvorske faune (Minelli i sur., 2002). Osim njih utvrđeno je još 7 vrsta Gastropoda. Iako ne čine značajan udio u skupini, ukazuju na njezinu raznolikost unutar zajednice. Predstavnici skupine Gastropoda uglavnom su herbivori ili detritivori te s obzirom na strukturu staništa na izvoru Prud s dominacijom raznolike makrofitske vegetacije razvijene na mineralnom supstratu (akal i psamal) ovakvi su rezultati očekivani. Bogata makrofitska vegetacija osim što mnogim vrstama služi kao izvor hrane, omogućuje i bijeg od predatora (Glazier, 2009;

Scarsbook i sur., 2007). To vrijedi za skupinu Amphipoda koju na izvoru Prud najvećim dijelom čine vrste *Echinogammarus thoni* i *Gammarus balcanicus*. Hidromorfološka obilježja izvora Prud omogućuju razvoj raznolike makrofitske vegetacije te je ona jedna od ključnih odrednica u strukturi zajednica makrozoobentosa, što potvrđuje i činjenica da je najveće bogatstvo svojti (44) zabilježeno u vrijeme vegetacijske sezone u svibnju 2014. godine, kada je raznolikost vodenih makrofita najveća.

Od vodenih kukaca na izvoru Prud najzastupljenije su jedinke iz porodice trzalaca (Chironomidae), značajno povećavajući udio skupine Diptera (97%) koja je s najvećom zabilježenom gustoćom tijekom cijelog razdoblja istraživanja (1550 m²). Gustoća jedinki porodice Chironomidae približno je jednaka gustoći predstavnika reda Amphipoda tijekom svih sezona. Njihovi udjeli rastu u toplijem dijelu godine kada se smanjuje udio Gastropoda, što je zabilježeno i prethodnim istraživanjima krških izvora u Jadranskom slivu (Rađa i Puljas, 2010). Ličinke porodice Chironomidae vrlo su značajna skupina u makrozoobentosu gdje često dominiraju brojnošću jedinki što je potvrđeno i ovim istraživanjem. Zbog dominantnog udjela u zajednici i mogućnosti prilagodbe na smanjenu koncentraciju kisika vrlo su važni indikatori kvalitete vode (Lencioni, 2012). Mnogi vodeni kukci ovise o koncentraciji otopljenog kisika. Predstavnici skupine vodencvjetova (Ephemeroptera), obalčara (Plecoptera) i tulara (Trichoptera) (EPT) osjetljivi su na smanjene koncentracije kisika (Thorp i Chovich, 1991) zbog čega smanjena gustoća jedinki ovih skupina na izvoru Prud u odnosu na gustoću jedinki skupine Diptera može ukazivati na smanjenu koncentraciju otopljenog kisika. Predstavnici ostalih skupina makrozoobentosa poput maločetinaša (Oligochaeta) i pijavica (Hirudinea) javljaju se s malim udjelom u zajednici, iako se odlikuju većim bogatstvom vrsta od nekih dominantnih skupina, poput Amphipoda. Općenito bogatstvo vrsta na izvoru Prud ne utječe na raznolikost zajednice zbog dominantnog udjela i brojnosti jedinki prethodno navedenih skupina. Brojnost vrsta najveća je tijekom proljetnih mjeseci što odgovara vegetacijskoj sezoni makrofitske vodene vegetacije. Unatoč tome dominacija prethodno navedenih skupina prisutna je i u tom razdoblju te se povećava tijekom ostalih sezona, što zajednicu makrozoobentosa na izvoru Prud većinu godine čini jednolikom.

Kada se rezultati dobiveni ovim istraživanjima usporede s onima dobivenim istraživanjem provedenim u razdoblju od 1993. do 1995. godine (Mrakovčić i sur., 1995), uočava se relativna sličnost u sastavu zajednice. Međutim važno je istaknuti bitne razlike. Pojedine skupine nisu zabilježene ovim istraživanjem, poput skupine ljuskara (Ostracoda) i slatkovodnih kozica (Decapoda, Caridea), dok skupine koje su ovim istraživanjem zabilježene u prethodnom nisu, poput skupina jednakokrilaca (Homoptera), muljara (Megaloptera), leptira (Lepidoptera) i vodengrinja (Hydrachnellae). Sudeći prema vrlo malom broju ovih jedinki u recentnim uzorcima vrste iz navedenih skupina kukaca (Insecta) su rijetke te je vjerojatnost da se pojave u uzorcima manja, što ukazuje da je metodologija, točnije količina uzoraka ključan faktor u određivanju sastava zajednice (Colwell, 2009). Metodologija ova dva istraživanja značajno se razlikuje, zbog čega se dobiveni podaci o sastavu i gustoći zajednica makrozoobentosa na izvoru Prud u određenoj mjeri razlikuju. To je posebno vidljivo kod rezultata analize gustoće jedinki, gdje je utvrđena veća gustoća jedinki u prethodnom istraživanju (Prilog I). Budući da se uzorkovanje provodilo Ekmanovim bagerom (15x15 cm) na drugačijem supstratu (argilal) značajna razlika u brojnosti jedinki moguća je zbog razlike u površini uzorkovanja te preferenciji pojedinih skupina prema specifičnom mikrostaništu. To je posebno vidljivo kod razlika u brojnosti jedinki reda Oligochaeta, koji su tipični predstavnici dna kopnenih voda, s preferencijom prema muljevitom supstratu (Minelli i sur., 2002). Prema mnogim studijama koje su u obzir uzimale mikrodistribuciju organizama s obzirom na varijabilnost okolišnih čimbenika, potvrđeno je kako broj različitih mikrostaništa uvjetuje broj jedinki na pojedinim istraživanim postajama (Ćuk i sur., 2014). Uzorkovanje u recentnim istraživanjima provodilo se većinom na makrofitima te je očekivano da će razlike u brojnosti jedinki ove skupine biti velike. Veća količina uzoraka u recentnom istraživanju (10x2, 20x2) u odnosu na prethodno (7), pri čemu je ukupan broj prikupljenih jedinki mnogo veći (10681), ukazuje da je vjerojatnost pojave prethodno navedenih rijetkih skupina kukaca mnogo veća nego što je to bilo u prethodnom istraživanju, gdje je prikupljeno ukupno 1201 jedinki. Nadalje, razina determinacije pojedinih svojti veća je u recentnom istraživanju, zbog čega je utvrđeno veće bogatstvo svojti. Bez obzira na vidljive razlike, dominacija skupina Gastropoda, Amphipoda i Diptera (Chironomidae) zabilježena je i u prethodnom istraživanju. Predstavnici ovih skupina javljaju se s najvećom prosječnom gustoćom jedinki unutar zajednice (Prilog 1). Sadašnje stanje približno je jednako, što ukazuje da se nisu dogodile značajne promjene koje bi mogle poremetiti stabilnost abiotičkih čimbenika koji utječu na prisutnost, brojnost i distribuciju jedinki makrozoobentosa. Postoje razlike u zabilježenim svojstama iz skupine Gastropoda, međutim dominacija vrste *E.patula* vidljiva je iz oba

istraživanja. Vrsta *Echinogammarus pungen* (H. Milne Edwards, 1840) iz skupine Amphipoda nije zabilježena sadašnjim istraživanjima, dok se u prethodnom javlja s malom gustoćom jedinki u pojedinim sezonama. Prethodnim istraživanjima utvrđeno je kako skupina Decapoda, s prosječnom gustoćom od 422 jedinke po m² i Ostracoda s prosječnom gustoćom od 556 jedinke po m², zauzimaju značajan udio u zajednici, međutim ovim istraživanjem nisu zabilježene.

Razlike u metodologiji prethodnih i recentnih istraživanja utječu na krajnje rezultate, što otežava usporedbu sastava i gustoće zajednice makrozoobentosa na izvoru Prud i mogućih okolišnih promjena koje su se dogodile u međuvremenu. No upućuju na druge mogućnosti procjene raznolikosti zajednice te ocjene učinkovitosti metodologije istraživanja, ali i uvid u važnost raznolikosti mikrostaništa za distribuciju organizama. Zbog očitih razlika u metodologiji bilo je potrebno provesti neparametrijske testove. Akumulacijska krivulja za recentno istraživanje pokazuje značajan porast brojnosti svojti u svibnju 2014. godine, dok daljnjim uzorkovanjem broj novih svojti ne raste mnogo. Akumulacijska krivulja za prethodno istraživanje izvora Prud pokazuje porast brojnosti svojti sa svakim uzorkovanjem, no ukupan broj svojti manji je od onog u recentnom istraživanju, zbog čega je provedena standardizacija uzoraka. Uzimajući u obzir broj rijetkih svojti u uzorcima pretpostavlja se vjerojatnost pojave novih s daljnjim uzorkovanjem zbog čega kumulativni broj svojti u uzorcima virtualno raste (Colwell, 2009). S obzirom da se sastav i brojnost svojti utvrđenih ovim istraživanjima razlikuje te su u prethodnim i recentnim uzorcima prisutne rijetke svojte, trenutno procijenjena brojnost od 55 svojti na izvoru Prud te brojnost od 30 svojti procijenjena za razdoblje prije 20-ak godina treba uzeti s rezervom uzimajući u obzir značajne razlike u metodologiji i razini determinacije. Broj od 30 svojti manje je vjerojatan za to razdoblje, dok je broj od 55 svojti vrlo vjerojatan za trenutno stanje. Budući da se radi o pretpostavkama vrijednosti se ne mogu sa sigurnošću tvrditi, međutim one ukazuju na učinkovitost pojedine metode. Prema tome može se zaključiti kako je metodologija koja se trenutno koristi učinkovitija na razini procjene bogatstva vrsta.

Ekološko stanje izvora Prud

Zakonom o vodama (Narodne novine, br. 153/2009, 63/2011, 130/2011, 56/2013 i 14/2014) direktive donesene u okviru europske vodne politike prenesene su u hrvatsko nacionalno zakonodavstvo, prema kojem je glavni cilj postizanje dobrog ekološkog stanja svih površinskih vodnih tijela, što zahtijeva novi pristup u ocijeni kvalitete vode i ekološkog stanja voda. Ocjenjivanje ekološkog stanja voda predstavlja mjerenje promjene stanja i funkcije ekosustava u odnosu na prirodno stanje, prema čemu se razvrstava u 5 kategorija ekološkog stanja (vrlo dobro, dobro, umjereno, loše i vrlo loše) koje su propisane u Prilogu 2. Uredbe o standardu kakvoće vode (Narodne novine, br. 73/2013 i 151/2014) (URL 4). Ocjena ekološkog stanja provodi se na temelju mjerenja fizikalno-kemijskih, hidroloških te bioloških elemenata koji ih prate. U ovom radu fokus je stavljen na fizikalno-kemijska obilježja i obilježja zajednice makrozoobentosa izvora Prud, kao važnog biološkog elementa kakvoće. Biološki elementi kakvoće za površinske vode dodatno uključuju i fitobentos, makrofite te zajednicu riba, zbog čega je za pouzdanu procjenu ekološkog stanja preporučljivo odrediti svaki od navedenih elemenata, s obzirom da međudnosi organizama koji prate prisutne abiotičke čimbenike određuju funkciju ekosustava te promjena jednog elementa direktno ili indirektno utječe na cjelokupnu funkciju ekosustava. Međutim biološki element makrozoobentos pokazao se kao vrlo učinkovita metoda u procjeni kvalitete vode te se najčešće koristi u praćenju stanja površinskih voda, budući da su organizmi vrlo osjetljivi na okolišne promjene te su ograničeni na usko područje rasprostranjenosti (Tagliapietra i Sigovini, 2010). Organsko opterećenje u vodama utječe na raznolikost vrsta, pri čemu povećanje opterećenja smanjuje brojnost vrsta, dok se povećava broj jedinki iste vrste, zbog čega je makrozoobentos važan pokazatelj metaboličkih procesa te stanja trofije i kakvoće vode (Ćuk i sur., 2011).

Izvor Prud pripada Dinarskoj regiji, veličine sliva cca. 200 km² (Slišković, 2014) s pretežito vapnenačkom podlogom te se nalazi na prostoru delte Neretve u čijem se zaleđu nalaze brojna krška polja. Prema ovi karakteristikama pripada HR-R 15A tipu tekućica, odnosno nizinskim malim i srednje velikim tekućicama krških polja (Kerovec i sur., 2008). Tipizacija izvora omogućava određivanje njegovog ekološkog stanja budući da su prirodna obilježja površinskih voda raznolika te su vrijednosti određenih elemenata kakvoće različite. U ovom su radu za ocjenu ekološkog stanja korišteni indeksi za određivanje modula saprobnosti, odnosno opterećenja organskim tvarima, koji ukazuju na kvalitetu vode izvora. Prema vrijednostima indeksa za bogatstvo vrsta (UBS), prisutnost svojiti različite osjetljivosti na

organsko opterećenje (BMWP i PBI) te prema vrijednostima hrvatskog saprobnog indeksa SI_{HR} kvaliteta vode kojoj pripada izvor Prud spada u III klasu voda. Vrijednosti su na granici s II klasom voda (0,59) no s obzirom na nedovoljnu razinu determinacije pojedinih skupina ne može se pouzdano tvrditi koliko je granica uska. Vrijednosti indeksa UBS i PBI ukazuju na II klasu voda dobrog ekološkog stanja dok vrijednosti SI_{HR} ukazuju na I klasu vrlo dobrog ekološkog stanja, međutim vrijednost BMWP bodovnog indeksa, koji u obzir uzimaju prisutnost porodica tolerantnih na organsko opterećenje, ukazuje na IV klasu voda lošeg ekološkog stanja. Prema prethodnim faunističkim istraživanjima izvora Prud (Mrakovčić i sur., 1995) indikatorske vrijednosti pojedinih svojti prema Wegelu (1983) ukazuju većinom na II i II-III klasu voda, što se podudara sa sadašnjim rezultatima. Međutim analiza sastava zajednice utvrđene tim istraživanjem prema novim metodama pokazuje IV klasu vode za to razdoblje (travanj 1993. - kolovoz 1995. godine), što nije pouzdano kada se u obzir uzme nedostatak potrebnih podataka koje novije metode zahtijevaju pri izračunima pojedinih indeksa. Nadalje, prilikom ocjene stanja na izvoru Prud potrebno je osvrnuti se na tipizaciju površinskih voda. Postojeća tipizacija površinskih voda, prema kojoj su određeni elementi procjene ekološkog stanja, ne uzimaju u obzir specifična obilježja izvora i longitudinalne razlike u sastavu zajednica. Izvori velikim dijelom ovise o podzemnim vodama te su njihova fizikalno-kemijska obilježja koja određuju sastav i strukturu zajednica organizama uglavnom kontrolirana hidrogeološkim karakteristikama pripadajućeg vodonosnika (van der Kamp, 1995 cit. iz Scarsbrook i sur., 2007). Zbog toga vrijednosti pojedinih indeksa ne vrijede jednako za područje riječnog toka i samog izvora. To posebno vrijedi za područje izvorišta (eukrenala), koje predstavlja točku izlaska podzemne vode na površinu, s dominacijom krenobionata, jednim dijelom i podzemnih vrsta (stigobionata). Zbog stabilnih uvjeta s malim oscilacijama temperature i protoka te smanjene koncentracije otopljenog kisika brojnost vrsta je smanjena (Dumnicka i sur., 2007; Carroll i Thorp, 2014). Uzorkovanje na izvoru Prud velikim dijelom je provedeno na području izvorišta (eukrenala) te je mala brojnost vrsta specifično prirodno obilježje tog područja, što ukazuje na nepouzdanost dobivenih vrijednosti indeksa koje ne uzimaju u obzir prethodno spomenute čimbenike. Nadalje, fizikalno-kemijska obilježja voda u kršu pod dominantnim utjecajem podzemnih voda razlikuju se od mnogih obilježja europskih te kontinentalnih voda, prema kojima su standardi uzeti. Sudeći prema geološkoj sličnosti talijanskog i područja dinarskog krša, kao najpouzdaniji biotički indeks u procjeni kvalitete krških voda pokazuje se prošireni biotički indeks (PBI), koji je razvijen prema talijanskim standardima. Prema dobivenim vrijednostima za PBI u ovom istraživanju, voda na izvoru Prud pripada II klasi voda. Međutim, pojedina istraživanja predlažu razvijanje

ilirskog biotičkog indeksa (IBI) koji bi bio prilagođen hrvatskim standardima za pouzdaniju procjenu kvalitete krških voda (Rađa i Puljas, 2010). Kada se u obzir uzmu sve činjenice, niti jedan od postojećih indeksa ne može se direktno primijeniti u procjeni kvalitete krških voda. Sudeći prema ovom istraživanju, potrebna je učinkovita metodologija istraživanja s detaljnom analizom sastava i strukture lokalne zajednice makrozoobentosa temeljene na potrebnim indeksima. Iz tog razloga izostaje ukupna ocjena opće degradacije izvora Prud budući da nije bilo moguće odrediti pojedine indekse potrebe za ocjenu omjera ekološke kakvoće (OEK) za modul opće degradacije. Međutim, izračunate su vrijednosti Shanon-Wienerovog indeksa raznolikosti (H) (0,73) koje ukazuju na dobro ekološko stanje. Vrijednost EPT-S indeksa (0,25) ukazuje na loše ekološko stanje s tim da nije precizna zbog nemogućnosti determinacije vrsta iz skupina Plecoptera i Trichoptera, te se ne smatra pouzdanom.

Budući da ocjene ekološkog stanja na temelju elementa makrozoobentosa nisu dostatne u pouzdanoj procjeni ekološkog stanja izvora Prud, u ovo istraživanje su uključeni prateći fizikalno-kemijski elementi kakvoće. Srednje godišnje vrijednosti osnovnih fizikalno-kemijskih pokazatelja za pH (7,31), KPK ($1,10 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$), amonij ($0,020 \text{ mgN L}^{-1}$), nitrate ($4,3 \text{ mgN L}^{-1}$) i ortofosfate ($0,030 \text{ mgP L}^{-1}$) kreću se unutar propisanih graničnih vrijednosti za dobro ekološko stanje, s izuzetkom vrijednosti koncentracije nitrata ($4,3 \text{ mgN L}^{-1}$) koja je značajno viša (Prilog II). Visoke koncentracije nitrata ukazuju na onečišćenje uslijed pojačane ljudske aktivnosti na okolnom području (Ćuk i sur., 2014). Prema istraživanju Štambuk-Giljanović (2003) voda na izvoru Prud na osnovu fizikalno-kemijskih parametara pripada II klasi voda (Prilog III) što znači da u međuvremenu nije došlo do većih promjena u kvaliteti vode, iako nedavna istraživanja pokazuju opći trend pogoršanja kakvoće vode u kemijskom smislu (Biondić, 2009).

Zbog ovisnosti kvalitete vode na izvoru Prud o podzemnoj vodi koja dotječe sa slivnog područja, gdje je prisutna intenzivna poljoprivreda (Štambuk-Giljanović, 2003, Close i sur., 2001 cit. iz Scarsbrook i sur., 2007), ali i okolnom prostoru koji je pod direktnim antropogenim utjecajem (naselja, prometnice, poljoprivredne površine) u ocjenu kvalitete vode dodatno su uključene ocjene kemijskog stanja vode na temelju osnovnih fizikalno-kemijskih pokazatelja te prosječnih graničnih vrijednosti specifičnih onečišćujućih tvari za površinske i podzemne vode. Osim važnosti ovih analiza pri procjeni razine utjecaja kemijskih svojstava vode na sastav zajednica makrozoobentosa, analiza kemizma vode izuzetno je važna jer izvor Prud predstavlja regionalni vodoopskrbni sustav. Prema rezultatima Nacionalnog monitoringa voda, na izvoru Prud koncentracije specifičnih

onečišćujućih tvari ne prelaze srednje godišnje granične vrijednosti propisane za površinske i podzemne vode (Prilog IV) (URL 4). Vrijednosti osnovnih fizikalno-kemijskih pokazatelja određenih za podzemne vode (pH, otopljeni kisik, električna provodnost, amonij, nitrati) ne ukazuju na značajno onečišćenje. Izuzetak su visoke vrijednosti električne provodnosti ($691,58 \mu\text{S cm}^{-1}$), koje ukazuju na pojačanu koncentraciju iona, što je rezultat i površinskih utjecaja u vidu prodora slane morske vode tijekom ljeta, ispiranja umjetnih gnojiva s okolnih poljoprivrednih zemljišta te mnogih ljudskih aktivnosti u okolnom području, na što ukazuju i visoke koncentracije nitrata. Istraživanja diljem svijeta pokazala su kako širok spektar ljudskih djelatnosti utječe na stabilnost čimbenika izvorskih ekosustava (Scarsbrook i sur., 2007).

Ukupno ekološko stanje na izvoru Prud, kada se u obzir uzmu najlošije vrijednosti pojedinih elemenata, može se ocijeniti kao umjereno dobro. Precizna ocjena izostaje zbog potrebe cjelovitog pristupa istraživanju koje bi uključilo i ostale biološke elemente kakvoće, hidromorfološke elemente te mikrobakteriološka ispitivanja. U obzir se trebaju uzeti razni kompleksni čimbenici koji utječu na stanje izvora, poglavito njegov položaj u kompleksnoj strukturi donjoneretvanskog područja s izrazitim antropogenim utjecajem. Dodatan čimbenik je prekogranično slivno područje zbog čega se ne može u potpunosti utvrditi potencijalna prijetnja u vidu hidroloških promjena ili onečišćenja, iako je prema nekim istraživanjima zabilježen utjecaj onečišćenja na prostoru Ljubuškog na vodu izvora Prud (Biondić, 2009). Analiza hidromorfoloških čimbenika u vidu njegove izdašnosti vrlo je važna s obzirom na vodoprivrednu funkciju izvora, međutim važno je utvrditi i razinu utjecaja vodoprivrednih aktivnosti na strukturu i raznolikost staništa, budući da je iskorištavanje izvora za vodoopskrbu jedna od najvećih prijetnji izvorskim staništima (Erman i Erman, 1995). Prema prethodno navedenom izvor Prud je još jedan u nizu primjera neravnoteže ljudske potrebe za resursima i potrebe za zaštitom tog jedinstvenog ekosustava koji još uvijek odolijeva višestrukim antropogenim pritiscima.

6. ZAKLJUČCI

- Sastav i struktura zajednica makrozoobentosa na izvoru Prud odraz je vladajućih abiotičkih čimbenika karakterističnih za duboke krške izvore velike izdašnosti u kojima dominiraju skupine prilagođene stabilnim uvjetima i kemijskom sastavu vode. Raznolika makrofitska vegetacija posljedica je hidromorfoloških obilježja izvora i doprinosi heterogenosti staništa što utječe na sastav zajednica organizama. Ovim istraživanjem na području eukrenala u najvećem broju su zabilježene vrste iz skupina Gastropoda i Amphipoda, koje su tipični predstavnici krških voda, u kojima dominiraju svojom brojnošću. U najvećem broju zabilježena je endemska vrsta puža *Emmericia patula* te rakušci *Echinogammarus thoni* i *Gammarus balcanicus*. Zbog prevladavajućeg fitala i povećane brzine strujanja vode tijekom većine sezone, vodeni kukci su zabilježeni u malom broju, izuzev predstavnika porodice Chironomidae (Diptera).
- Osnovna fizikalno-kemijska obilježja na izvoru nisu se značajno promijenila zadnjih 20-ak godina te je sastav zajednice približno jednak onom zabilježenom tijekom prethodnih istraživanja. Izostaju vrste iz skupina Ostracoda i Decapoda koje ovim istraživanjem nisu zabilježene, a čiji nedostatak može ukazivati na pogoršanje ekoloških uvjeta, budući da su slatkovodne kozice iznimno osjetljive na promjene u okolišu.
- Ekološko stanje izvora Prud umjereno je dobro. Kvaliteta vode je II-III klase, međutim klasifikacija nije precizna te ukazuje na potrebu razvijanja temeljitog pristupa istraživanju u kojem će se u obzir uzeti geografska, geološka i ekološka specifičnost istraživnog prostora te drugi elementi koji određuju funkciju ekosustava, kako bi se odredili odgovarajući standardi ocjenjivanja.
- Izvor Prud specifičan je izvorišni sustav u okviru delte Neretve čije komponente još uvijek odolijevaju visokoj razini čovjekovog utjecaja i višestrukim negativnim pritiscima zahvaljujući izuzetno velikim količinama vode koje dotječu iz dubokih krških vodonosnika. Iako nije zabilježeno značajno onečišćenje i degradacija, nužno je daljnje očuvanje ovog jedinstvenog staništa koje doprinosi raznolikosti čitave geografske cjeline. Nemoguće je izbjeći negativan utjecaj poljoprivrednih aktivnosti i regulacije vodotoka na slivnom području te prostoru delte Neretve i susjedne države

BiH, međutim odabir konkretnih i ispravnih koraka u daljnjoj zaštiti smanjiti će njihov utjecaj. Da bih se spriječila daljnja šteta te postigla konkretna i učinkovita zaštita, potrebna su sustavna i cjelovita istraživanja. U konačnici, dobiveni rezultati trebaju biti predstavljeni i interpretirani lokalnoj zajednici, bez kojih neće i ne može biti pozitivne promjene.

7. LITERATURA

Allan, J.D., Castillo, M.M. (2007): *Stream Ecology - Structure and function of running waters*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 429 str.

APHA (1995): *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, Washington, D.C., 1325 str.

Arab, A., Lek, S., Lounaci, A., Park, Y. S. (2004): Spatial and temporal patterns of benthic invertebrate communities in an intermittent river (North Africa). *Ann. Limnol-Int. J. Lim.* 40: 317-327.

Barquín, J., Death, R. G. (2009): Physical and chemical differences in karst springs of Cantabria, northern Spain: do invertebrate communities correspond?. *Aquat. Ecol.* 43: 445-455.

Barquín, J., Scarsbrook, M. R. (2007): Management and conservation strategies for coldwater springs. *Aquat. Conserv.* 18 (5): 580-591.

Biondić, D. (2009): *Strategija upravljanja vodama*. Hrvatske vode, Zagreb, 165 str.

Bonacci, O. (1987): 'Karst Hydrology', Man's Influence on the Water Regime in the Karst Terrains. Springer-Verlag, str. 150–173.

Bonettini, A.M., Cantonati, M. (1996): Macroinvertebrate assemblages of springs of the River Sacra catchment. *Crunoecia* 5: 71-78.

Botosaneanu, L. (1998): *Studies in Crenobiology: The Biology of Springs and Springbrooks*. Backhuys Publishers, Leiden, 261 str.

Callanan, M., Baars, J. R., Kelly-Quinn, M. (2014): Macroinvertebrate communities of Irish headwater streams: Contribution to catchment biodiversity. *Biology and Environment* 114b (3): 143-162.

Campaioli, S., Ghetti, P. F., Minelli, A., Ruffo, S. (1994): *Manuale per il riconoscimento dei macroinvertebrati delle acque dolci Italiane*, Vol. I. APR&B, Trento, 357 str.

- Cantonati, M., Gerecke, R., Bertuzzi, E. (2006): Springs of the Alps – sensitive ecosystems to environmental change: from biodiversity assessments to long-term studies. *Hydrobiologia* 562: 59–96.
- Carroll, T. M., Thorp, J. H. (2014): Ecotonal shifts in diversity and functional traits in zoobenthic communities of karst springs. *Hydrobiologia* 738: 1-20.
- Clarke, K. R., Gorley, R. N. (2006): PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E Ltd, Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK, 189 str.
- Collwel, R. K. (2009): Biodiversity: Concepts, Patterns and Measurement. U: Levin, S.A., Carpenter, S.R., Godfray, H.C.J., Kinzig, A.P., Loreau, M., Losos, J.B., Walker, B., Wilcove, D.S. (ur.). *The Princeton Guide to Ecology*, Princeton University Press, str. 257-263.
- Curić, Z. (1994): Donjonegetivski kraj: potencijalni i valorizirani turistički činitelji. Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb, 222 str.
- Ćuk, R., Vučković, I., Stanković, I., Andreis, S., Grubiša, D. (2011): Obilježja zajednica bentičkih beskralješnjaka u potocima na području grada Zagreba i Zagrebačke županije. *Hrvatske vode* (19) 75: 1-12.
- Ćuk, R., Tomas, D., Vučković, I. (2014): Kakvoća rijeke Save u 2012. godini. *Hrvatske vode* (22) 88: 97-106.
- Dekanić, S., Pišl, Z., Kerovec, M., Markanović-Vlašić, I., Markanović, D., Jozić, J., Pinjuh, N., Mudrić, H., Bezina, M. (2015): Elaborat zaštite okoliša-Biljni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda naselja Prud. Institut za istraživanje i razvoj održivih ekosustava, Zagreb, 61str.
- Dumnicka, E., Galas, J., Koperski, P. (2007): Benthic Invertebrates in Karst Springs: Does Substratum or Location Define Communities?. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 92 (4–5): 452–464.
- Erman, N. A., Erman, D. C. (1995): Spring Permanence, Trichoptera Species Richness and the Role of Drought. *J. Kans. Entomol. Soc.* 68: 50–64.
- Erman, N. A. (2002): Lessons from a Long-term Study of Springs and Spring Invertebrates (Sierra Nevada, California, U.S.A.) and Implications for Conservation and Management. U: *Conference Proceedings; Spring-fed Wetlands: Important Scientific and Cultural Resources of the Intermountain Region*. Department of Wildlife, Fish, and Conservation Biology, University of California, Davis, str. 1-13.

- Galas, J. (2005): Human impact on physical and chemical properties of springs from Cracow-Częstochowa upland (Southern Poland). *Pol. J. Ecol.* 53 (3): 329–341.
- Gerecke, R., Meisch, Stoch, F., Acri, F., Franz, H. (1998): Spring typology and eucrenon/hypocrenon-ecotone in the Bavarian Alps. U: Botosaneanu, L. (ur.), *Studies in Crenobiology*, Backhuys, Leiden, str. 167-182.
- Giller, P. S., Malmqvist, B. (1998): *The biology of Streams and Rivers*. Oxford University Pres, Oxford, 296 str.
- Glazier, D. S., Gooch, J. L. (1987): Macroinvertebrate assemblages in Pennsylvania (U.S.A.) springs. *Hydrobiologia* 150: 33-43.
- Glazier, D. S. (2009): Springs. U: Likens, G.E. (ur.), *Encyclopedia of Inland Waters*. Elsevier, Oxford, Vol. 1, str. 734-755.
- Gottstein, S., Žganec, K., Kerovec, M. (2009): Potencijalni utjecaj HE Lešće na zajednice makroskopskih vodenih beskralješnjaka izvorišnih područja gornjeg toka Gojačke Dobre. *Zoologijski zavod-PMF, Zagreb*, 119 str.
- Hoffsten, P. O., Malmqvist, B. (2000): The macroinvertebrate fauna and hydrogeology of springs in central Sweden. *Hydrobiologia* 436: 91–104.
- Harper, D. M., Smith, C., Barham, P., Howell, R. (1995): The ecological basis for the management of the natural environment. U: Harper, D. M., Ferguson, A. J. (ur.) *The Ecological Basis for River Management*. John Wiley and Sons, Chichester, str. 59-78.
- Ivičić, D., Pavičić, A. (1999): Hidrogeološka osnova zaštite vode u krškim poljima. U: Gereš, D. (ur.) *2. hrvatska konferencija o vodama - Hrvatske vode - od Jadrana do Dunava*. Hrvatske vode, Dubrovnik, str. 537-544.
- Kerovec, M. (1986): *Priručnik za upoznavanje beskralješnjaka naših potoka i rijeka*. Sveučilišna naklada Liber, Zagreb, 127 str.
- Kerovec, M., Ternjej, I., Mihaljević, Z., Gottstein, S., Lajtner, J., Popijač, S., Žganec, K., Kralj, K., Stanković, I., Slavikovski, A., Jelenčić, M. i Bartovsky, V (2008): Ekološko istraživanje površinskih kopnenih voda u hrvatskoj prema kriterijima okvirne direktive o vodama: Makrozoobentos kao pokazatelj ekološkog stanja tekućica. *Biološki odsjek, PMF, Zagreb*.

Knight, R. L., Notestein, S. K. (2008): Springs as Ecosystems. U: Brown, M. T., Reiss, K. C., Cohen, M. J., Evans, J., Reddy, K. R., Inglett, P. W., Inglett, K. S., Frazer, T. K., acoby, C. A., Phlips, E. J., Knight, R. L., Notestein, S. K., McKee K. A. (ur.) Final Report: Summary and Synthesis of the Available Literature on the Effects of Nutrients on Spring Organisms and Systems. University of Florida Water Institute, Gainesville, str. 1-52.

LaMoreaux, J. W., Stevanović, Z. (2015): Chapter 1. Historical Overview on Karst Research. U: Stevanović, Z. (ur.), Karst Aquifers - Characterization and Engineering. Springer International Publishing, Switzerland, str 3-18.

Lencioni, V., Marziali, L., Rossaro, B. (2012): Chironomids as bioindicators of environmental quality in mountain springs. *Freshwater Science* 31 (2): 526-541.

Ljubenković, I., Vranješ, M. (2012): Numerički model uslojenog tečenja – primjer zaslanjivanja korita rijeke Neretve (2004.). *Građevinar* 64 (2): 101-112.

Marčić-Brusina, Lj. (1963): Od nekadašnje luke Drijeva do mora. *Priroda* 9-10: 278-280.

Martin, P., Brunke, M. (2012): Faunal typology of lowland springs in northern Germany. *Freshwater Science* 31 (2): 542-562.

Meals, D. W., Dressing, S.A. (2008): Surface water flow measurement for water quality monitoring projects. Tech Notes 3, National Nonpoint Source Monitoring Program, Fairfax, USA, 16 str.

Mihevac, A., Prelovšek, M., Zupan Hajna, N. (2010): Introduction to the Dinaric karst. Karst Research Institute at Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts, Postojna, Slovenia, 71 str.

Minelli, A., Ruffo, S., Stoch, F., Bracco, F., Lapini, L., Muscio, G., Paradisi, S., Sbrulino, G., (2002): Springs and spring watercourses - Springs in the Northern Italian plains. U: Minelli A. (ur.) Italian Habitats. Udine, Museo Friulano di Storia Naturale, 155 str.

Mori, M., Bracelj, A. (2005): Macroinvertebrate communities of karst springs of two river catchments in the Southern Limestone Alps (the Julian Alps, NW Slovenia). *Aquatic Ecology* 40: 69–83.

Mrakovčić, M., Kerovec, M., Meštrov, M., Tavčar, V., Mišetić, S., Topić, J., Bukvić, I., Kovačić, D., Hafner, D., Šurmanović, D., Lajtner, J., Mihaljević, Z., Gottstein, S., Schneider,

- D., Bartovsky, V. (1995): Faunistička i ekološka obilježja vlažnih i vodenih staništa donjeg toka Neretve. Zoologijski zavod – PMF, Zagreb, 211 str.
- Rada, B., Puljas, S. (2010): Do Karst Rivers “deserve” their own biotic index? A ten years study on macrozoobenthos in Croatia. *International Journal of Speleology* 39 (2): 137-147.
- Reiss, M., Chiffard P. (2015): Hydromorphology and Biodiversity in Headwaters — An Eco-Faunistic Substrate Preference Assessment in Forest Springs of the German Subdued Mountains. U: Reiss, M. (ur.) *Biodiversity in Ecosystems - Linking Structure and Function*. University of Marburg, Faculty of Geography, Marburg, str 223-258.
- Ržehak, V. (1957): Prirodne rijetkosti u gornjem toku Neretve. *Zaštita prirode* (10): 24-42.
- Sansoni G., Ghetti P. F. (1992): Atlante per il riconoscimento dei macroinvertebrati dei corsi d'acqua italiani. Stazione sperimentale agraria forestale (Trento, Italia). Servizio protezione ambiente, Trento, 190 str.
- Scarsbrook, M., Barquín, J., Gray, D. (2007): New Zealand coldwater springs and their biodiversity. *Science for Conservation* 278. Science & Technical Publishing Department of Conservation. The Terrace Wellington, New Zealand, 72 str.
- Slišković, I., Kapelj, S., Vidović, M. (1997): Zaštita izvora Norinske rijeke – Metković. *Hrvatske vode : časopis za vodno gospodarstvo* 19 (5): 147-159.
- Slišković, I., Ivičić, D. (1999): Hidrogeologija sliva i korištenje voda rijeke Trebižat. U: Gereš, D. (ur.) *2. hrvatska konferencija o vodama - Hrvatske vode - od Jadrana do Dunava*. Hrvatske vode, Dubrovnik, str. 589-596.
- Slišković, I. (2014): Vode u kršu slivova Neretve i Cetine. *Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Hrvatski geološki insitut, Zagreb*, 171 str.
- Smith, H., Wood, P. J., Gunn, J. (2003): The influence of habitat structure and flow permanence on invertebrate communities in karst spring systems. *Hydrobiologia* 510: 53-66.
- Staudacher, K., Füreder, L. (2007): Habitat Complexity and Invertebrates in Selected Alpine Springs (Schütt, Carinthia, Austria). *Internat. Rev. Hydrobiol.* 92 (4-5): 465–479.
- Štambuk-Giljanović, N. (1998): Vode Neretve i njezina poriječja. *ZJZ Županije splitsko-dalmatinske, Split*, 640 str.

Štambuk-Giljanović, N. (2003): The water quality of the Vrgorska Matica river. *Environmental Monitoring and Assessment* 83: 229–253.

Švajger, A. (1958): Ptice u dolini Neretve. *Priroda* (3): 84-88.

Tagliapietra, D., Sigovini, M. (2010): Benthic fauna: collection and identification of macrobenthic invertebrates. *Terre et Environnement* 88: 253-261.

Thorp, J. H., Covich A. P. (1991): *Classification of North American Freshwater Invertebrates*. Academic Press, San Diego, 1056 str.

Von Fumetti, S., Nagel, P. (2011) A first approach to a faunistic crenon typology based on functional feeding groups. *Journal of Limnology* 70 (Supl. 1): 147-154.

Williams, D., Williams, N. E. (1998): Invertebrate communities from freshwater springs: what can they contribute to pure and applied ecology? U: Botosaneanu L. (ur.). *Studies in Crenobiology. The biology of springs and springbrooks*. Backhuys Publishers, Leiden, str. 251-261.

Webb, D. W., Wetzel, M. J, Reed, P. C., Philippe, L. R., Young, T. C. (1998): The macroninvertebrate biodiversity, water quality, and hydrogeology of ten karst springs in the Salem Plateau of Illinois. U: Botosaneanu L. (ur.). *Studies in Crenobiology. The biology of springs and springbrooks*. Backhuys Publishers, Leiden, str. 39-48.

Wood, P. J., Hannah, D. M., Agnew, M. D., Petts, G. E. (2001): Scales of hydroecological variability within a groundwater-dominated stream. *Regul. Rivers: Res. Manage.*, 17: 347-367.

Wood, P. J., Gunn, J., Smith, H., Abas-Kutty, A. (2005): Flow permanence and macroinvertebrate community diversity within groundwater dominated headwater streams and springs. *Hydrobiologia* 545: 55-64.

Korištene internet stranice:

URL 1: <http://www.inhs.illinois.edu/~mjwetzels/SPOIL.hp.html> (pristupila 12.1.2016.)

URL 2: <http://www.nasaneretva.net/neretva/pogled-sa-struke-na-neretvu/111-park-prirode-delta-neretve-stru%C4%8Dna-podloga-za-za%C5%A1titu.html> (pristupila 25.1.2016)

URL 3: file:///C:/Users/Admin/Desktop/e_zbornik_05_01.pdf (pristupila 10.02.2016.)

URL 4: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_06_73_1463.html (pristupila 10.02.2016.)

PRILOZI

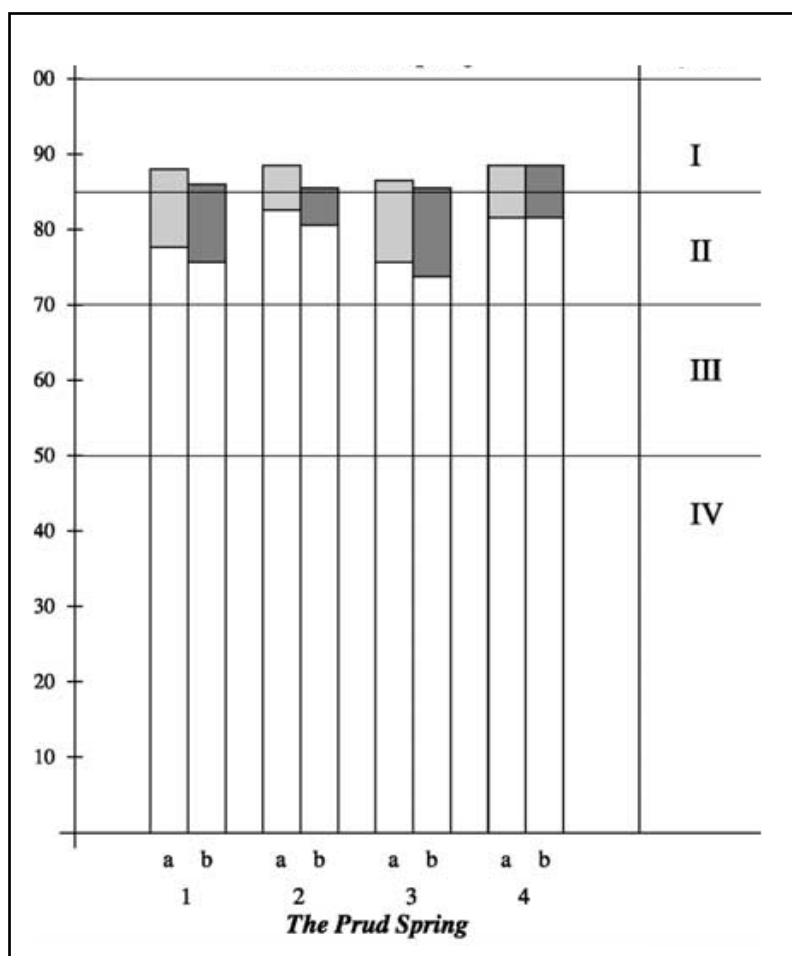
Prilog I: Kvalitativni i kvantitativni sastav zajednice makrozoobentosa na izvoru Prud u razdoblju istraživanja od travnja 1993. do kolovoza 1995. godine (Mrakovčić i sur., 1995).

SKUPINE	16.04. 1993.	09.04. 1994.	16.04. 1994.	16.12. 1994.	03.04. 1995.	13.06. 1995.	02.08. 1995.
HIRUDINEA	0	0	0	0	133	44	
OLIGOCHAETA	0	0	0	3111	1333	133	0
GASTROPODA	3111	1200	0	1333	2000	1822	1466
<i>Emmericia patula</i>	44	933	0	177	0	0	0
<i>Bithynia tentaculata</i>	133	133	0	133	0	0	0
<i>Lymnaea cvata</i>	44	0	0	0	0	0	0
<i>Lymnaea palustris</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Planorbis planorbis</i>	0	0	0	88	0	0	0
<i>Oxyloma elegans</i>	0	0	0	44	0	0	0
BIVALVIA	0	0	0	0	222	0	44
Tubificidae	0	0	0	311	0	0	0
<i>Potamotheix hammoniensis</i>	0	0	0	44	0	0	0
<i>Psammoryctes barbata</i>	0	0	0	89	0	0	0
ARACHNIDA	0	0	0	0	0	0	22
OSTRACODA	0	0	0	2222	1333	311	22
DECAPODA	89	0	889	0	0	356	1622
<i>Palaemonetes antennarius</i>	89	0	889	0	0	356	3044
ISOPODA	0	44	0	0	311	0	156
AMPHIPODA	933	933	533	0	356	844	978
<i>Echinogammarus thoni</i>	533	578	0	0	0	622	711
<i>Echinogammarus pungens</i>	0	44	0	0	222	0	0
<i>Gammarus balcanicus</i>	0	222	0	0	0	222	311
Mysidae	0	0	0	0	0	0	89
EPHEMEROPTERA	0	0	0	0	0	177	22
ODONATA	0	0	0	0	0	0	67
COLEOPTERA	0	0	0	0	311	0	0
TRICHOPTERA	0	0	133	89	44	44	89
DIPTERA	44	0	0	0	0	0	44
Chironomidae	44	0	88	3555	1333	0	200
HEMIPTERA							4
Corixinae	0	0	0	0	0	0	44
dominantne skupine							
svojte s najvećom brojnosti jedinki							
svojte koje nisu zabilježene recentnim istraživanjem							

Prilog II: Granične vrijednosti pojedinih fizikalno-kemijskih pokazatelja kakvoće vode u ocjeni ekološkog stanja propisane u Prilogu 2 Uredbe o standardu kakvoće vode (URL 4).

pH	KPK (mg O ₂ L ⁻¹)	Nitrati (mgN L ⁻¹)	Amonij (mgN L ⁻¹)	Ortofosati (mg P L ⁻¹)	
7,4-8,5	2,5	0,5	0,02	0,01	VRLO DOBRO
7,0-7,4 8,5-9,0	4,5	0,9	0,07	0,03	DOBRO

Prilog III: Istraživanja provedena od 1997. do 2000. godine (**1-4**) na temelju indeksa za ocjenu kvalitete vode: **a** – indeks baziran na 9 parametara (temperatura (°C), mineralizacija (mg L⁻¹), koeficijent korozije ((Cl + SO₄)/HCO₃), otopljeni kisik (mg L⁻¹), BOD₅ (mg L⁻¹), ukupni N (mg L⁻¹), ukupni P (mg L⁻¹), protein N (mg L⁻¹), broj koliformnih bakterija (MPN coli^c (100 mL)⁻¹); **b** – indeks baziran na 4 parametra (ukupni N (mg L⁻¹), ukupni P (mg L⁻¹), otopljeni kisik (mg L⁻¹) i MPN (100 mL)⁻¹) koja ukazuju na **II klasu** vode izvora Prud (Štambuk-Giljanović, 2003)



Prilog IV: Prosječne godišnje koncentracije (PGK) specifičnih onečišćujućih tvari na izvoru
Prud prema mjerenjima Nacionalnog monitorina Hrvatskih voda u razdoblju od 2009. do
2013. godine.

MJERENI PARAMETRI	PGK	MJERENI PARAMETRI	PGK	MJERENI PARAMETRI	PGK
Amonij (mg/L NH_4^+)	0,020	Atrazin ($\mu\text{g/l}$)	0,006	Benzen ($\mu\text{g/l}$)	0,114
Nitrati (mgNO_3/l)	4,3	Simazin ($\mu\text{g/l}$)	0,015	Antracen ($\mu\text{g/l}$)	0,021
Ortofosfati (mgPO_4/l)	0,030	Trikloretilen ($\mu\text{g/l}$)	0,137	Benzo(k)fluorante n ($\mu\text{g/l}$)	0,005
Kadmij - otopljeni ($\mu\text{gCd/l}$)	0,1	1.2-dikloretan ($\mu\text{g/l}$)	0,237	Benzo(a)piren ($\mu\text{g/l}$)	0,009
Olovo - otopljeno ($\mu\text{gPb/l}$)	1,1	Diklormetan ($\mu\text{g/l}$)	0,294	Benzo(g,h,i)perilen ($\mu\text{g/l}$)	0,001
Živa - otopljena ($\mu\text{gHg/l}$)	0,1	Heksaklorbutadien ($\mu\text{g/l}$)	0,031	Pentaklorbenzen ($\mu\text{g/l}$)	0,003

ŽIVOTOPIS

Rođena sam 8.9.1991. godine u Makarskoj. Školu sam pohađala u Pločama do 2010. godine kada sam završila srednjoškolsko obrazovanje u Srednjoj školi fra Andrije Kačića Miošića (Opća gimnazija).

Fakultetsko obrazovanje započelo je iste godine na Sveučilišnom odjelu za studije mora Sveučilišta u Splitu gdje sam upisala prediplomski studij, smjer Biologija i ekologija mora. Diplomirala sam u rujnu 2013. godine, na temi „Mikroalge – temelji hranidbenog lanca“ gdje sam se osvrnula na biokemijska, evolucijska i ekološka svojstva mikroalgi s posebnim osvrtom na biotehnologiju njihove proizvodnje.

Nakon stjecanja naziva prvostupnika, ing. Biologije i ekologije mora, u listopadu 2013. godine se odlučujem za upis diplomskog studija na Prirodoslovnom-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, smjer Znanosti o okolišu s namjerom obuhvaćanja šireg znanja na području prirodnih znanosti.

Tijekom studija susrela sam se s brojnim terenskim i laboratorijskim istraživanjima unutar različitih kolegija i područja istraživanja. Osim istraživanja u sklopu fakultetskih obaveza sudjelovala sam u nekoliko istraživanja vezanih za izvanastavne aktivnosti, među kojima posebno ističem edukacijsko-istraživačke projekte udruge BIUS („Grabovača 2014“ i „Papuk 2015“) s kojima sam stekla posebno iskustvo kao suvoditelj sekcije za gljive, u suradnji s Institutom Ruđer Bošković u Zagrebu.

Zanimanje za funkcije ekosustava i protok energije rezultirao je posebnim interesom prema vodi, u vidu svih njenih obilježja (od biokemijskih do ekoloških svojstava). Iz tog razloga započinje rad na Zoološkom zavodu PMF-a u Laboratoriju za ekologiju kopnenih voda u sklopu kojeg je izrađen ovaj diplomski rad.

